

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Оптимізація параметрів горизонтального
стрічкового змішувача комбікормів**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-3-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Золотухін Олександр Русланович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____ Потеруха Борис Тарасович

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«09» листопада 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Золотухіну Олександрю Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація параметрів горизонтального стрічкового змішувача комбікормів

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«09» листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом 04.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбікормів, зокрема змішування. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Теоретичні дослідження процесу змішування. 3. Експериментальні дослідження процесу змішування. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Дудін В.Ю., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 26.09.2019 р._____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 17.11.2023 р.	
2	Теоретичний	до 17.11.2023 р.	
3	Експериментальний	до 17.11.2023 р.	
4	Охорона праці	до 17.11.2023 р.	
5	Економічний	до 25.11.2023 р.	
6	Демонстраційна частина	до 04.12.2023 р.	

Студент

(підпис)

Золотухін О.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Золотухін О.Р. Оптимізація параметрів горизонтального стрічкового змішувача комбікормів /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

Дипломна робота містить п'ять основних розділів. У вступі дипломної роботи обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі, приведено методи досліджень. З аналізу стану питання змішування сипких кормів встановлено схему змішувача, який підлягає удосконаленню. В другому розділі проведено теоретичне моделювання роботи змішувача на основі чого обґрунтовано технологічні, геометричні, кінематичні та силові параметрів. В результаті лабораторних досліджень (розділ 3) визначено раціональні співвідношення конструктивно-режимних параметрів розробленого змішувача. Проведено дослідження розробленої конструкції з точки зору охорони праці. В п'ятому розділі виконано економічну оцінку розробленого змішувача комбікорму. На завершення сформульовано загальні висновки, складено бібліографічний список та оформлено додатки.

Ключові слова: сипкі корми, змішувач, гвинт, потужність, однорідність змішування, питома енергоємність, питомі експлуатаційні витрати

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналіз стану питання	9
1.1 Сучасний стан виробництва комбікормів	9
1.2 Аналіз конструкцій змішувачів сипких кормів	14
1.3 Висновки по розділу	24
2 Теоретичні дослідження процесу змішування	25
2.1 Параметрична модель процесу змішування	25
2.2 Теоретична модель переміщення корму в змішувачі	27
2.3 Теоретичне дослідження енергетичних показників процесу	38
2.4 Висновки по розділу	41
3 Експериментальні дослідження процесу змішування	43
3.1 Програма експериментальних досліджень	43
3.2 Об'єкти експериментальних досліджень	44
3.3 Методика проведення експерименту	44
3.4 Аналіз результатів досліджень якості процесу змішування	48
3.5 Аналіз результатів досліджень енергергоємності процесу	50
3.6 Оптимізація конструкційно-технологічних параметрів змішувача	54
3.7 Висновки по розділу	56
4 Охорона праці	57
4.1 Загальні вимоги	57
4.2 Проект інструкції з охорони праці при роботі	

зі змішувачем комбікормів	59
4.3 Розробка карти контролю показників безпеки змішувача кормів	61
4.4 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	62
4.5 Висновки по розділу	63
5 Економічна оцінка	64
Загальні висновки	68
Бібліографічний список	70
Додатки	

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток виробництва продукції тваринництва неможливий без міцної та стабільної кормової бази, яка здатна забезпечити господарства необхідними кормовими компонентами.

В результаті досліджень фізіологічної ролі компонентів корму, виконаних вітчизняними та зарубіжними науковцями з годівлі тварин, було сформульовано уявлення про вирішальну роль підґрунтям комплексної взаємодії трьох вихідних умов, що стали розробки засобів проведення механізованих технологій годівлі тварин:

- підготовки збалансованих за поживністю та якістю кормів;
- видачі тваринам раціонально необхідної їх кількості;
- одночасного надходження кормокомпонентів в організм тварини.

Перша умова вказує на необхідність застосування тваринам багатокомпонентних раціонів, що повністю балансують їх потребу в поживних речовинах. Її інтерпретацією стала розробка структури механізованих технологічних операцій, спрямованих на надання сировині нових властивостей, що поліпшують засвоєння корму, покращують стан здоров'я і зменшують питомі витрати на одержання тваринницької продукції.

Друга умова стосується забезпечення тварин достатньою кількістю кормового матеріалу і вирішується обґрунтованими положеннями про нормовану годівлю тварин. Рекомендовані обсяги кормів є вихідними умовами розробки засобів механізації з заданою продуктивністю.

Третя умова опирається на сформульовані основи збалансованого живлення тварин та організації процесу годівлі, що його забезпечує. Встановлено, що годівля повноцінними сумішками в порівнянні з монокомпонентним згодовуванням кормів дозволяє зменшити витрати матеріалів на 15-20%. Були розроблені механізовані технології приготування сумішок для всіх видів тварин, зокрема комбікормів, які у вигляді комбікормів-концентратів чи повноцінних комбікормів є обов'язковою складовою частиною кормових сумішок більш широкого діапазону.

Врахування вказаних трьох умов і їх оптимальне впровадження є основою розробки ресурсозберезних механізованих технологій приготування кормів.

З розвитком ринкової економіки використання комбікормів, виготовлених великими заводами, не завжди є ефективним, оскільки вони мають високу собівартість та часто не відповідають потрібній якості.

Саме тому постає задача розробки засобів приготування комбікормів безпосередньо в господарствах. При цьому спрощується технологічне оснащення, зменшується метало- та енергоємність процесу, а також транспортні витрати. Для приготування комбікормів використовується власна сировина, що сприяє раціональному та ефективному використанню кормових ресурсів господарств та зниженню затрат кормів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесу приготування комбікормів шляхом обґрунтування параметрів горизонтального стрічкового змішувача.

Задачі досліджень:

- аналіз стану питання змішування комбікормів;
- теоретичні дослідження горизонтального стрічкового змішувача сипких кормів;
- експериментальні дослідження горизонтального стрічкового змішувача сипких кормів;
- аналіз розробленого горизонтального стрічкового змішувача з точки зору охорони праці;
- техніко-економічна оцінка конструкції горизонтального стрічкового змішувача.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Сучасний стан виробництва комбікормів

У сучасний період комбікормові підприємства можна поділити на три основні групи:

- державні комбікормові підприємства;
- міжгосподарські комбікормові цехи та заводи;
- малогабаритні комбікормові установки та агрегати.

Взагалі комбікормові підприємства пропонується класифікувати за такими критеріями: зона обслуговування, тип і рівень організації виробництва, технологія, асортимент і вид продукції, що випускається, а також місце розміщення підприємства (рис. 1.1).

Склад і кількість обладнання комбікормових цехів визначається числом і змістом технологічних операцій виробництва комбікормів і умовами виробництва. Найбільше число операцій включають технологічні процеси виробництва комбікормів на державному або міжгосподарському комбікормовому заводі, на яких передбачаються технологічні лінії прийому і зберігання сировини, його попередньої підготовки і переробки, виробництва комбікормових кормів і добавок.

Малогабаритні комбікормові агрегати рекомендується застосовувати на дрібних тваринницьких фермах з добовим споживанням комбікормів до 10 т. Такі агрегати складаються із дробарки, одного або двох змішувачів і обладнання для подачі компонентів у дробарку і змішувач. Продуктивність їх не перевищує 1-1,5 т у годину. Технологічний процес виробництва комбікормів на таких агрегатах здійснюється за спрощеною схемою.

За технологією комбікормові підприємства існують як з повним, так і з спрощеним технологічним циклом. За асортиментом продукції, що випускається – спеціалізовані (випускають продукцію переважно для одного виду споживачів) і неспеціалізовані (з широким асортиментом). Розміщуватись комбі-

кормові підприємства можуть як у вигляді окремих виробництв, так і при різного виду сільськогосподарських об'єктах (зернопунктах, тваринницьких та птахофермах, а також у мобільному варіанті з розміщенням на тракторному причепі або платформі автомобіля.



Рисунок 1.1 - Класифікація комбікормових підприємств

З урахуванням накопиченого досвіду, спеціалістами розроблені відповідні рекомендації щодо оптимальних характеристик технологічного обладнання для виробництва різних видів комбікормів в умовах господарств, що показано на рис. 1.2.

Так комбікормові цехи продуктивністю 4,0 т/год доцільно використовувати для свинокомплексів на 12 тис. гол., а 8 т/год. - на 24 тис. гол., крупних птахофабрик, а також як міжгосподарські комбікормові виробництва. Агрегати

продуктивністю 0,5 і 1,0...2,0 т/год призначені безпосередньо для ферм (табл. 1.1). Для виробництва БВД передбачені установки продуктивністю 0,5; 1,0 та 2,0 т/год; їх можна використовувати як самостійно, так і у складі комбікормових цехів.

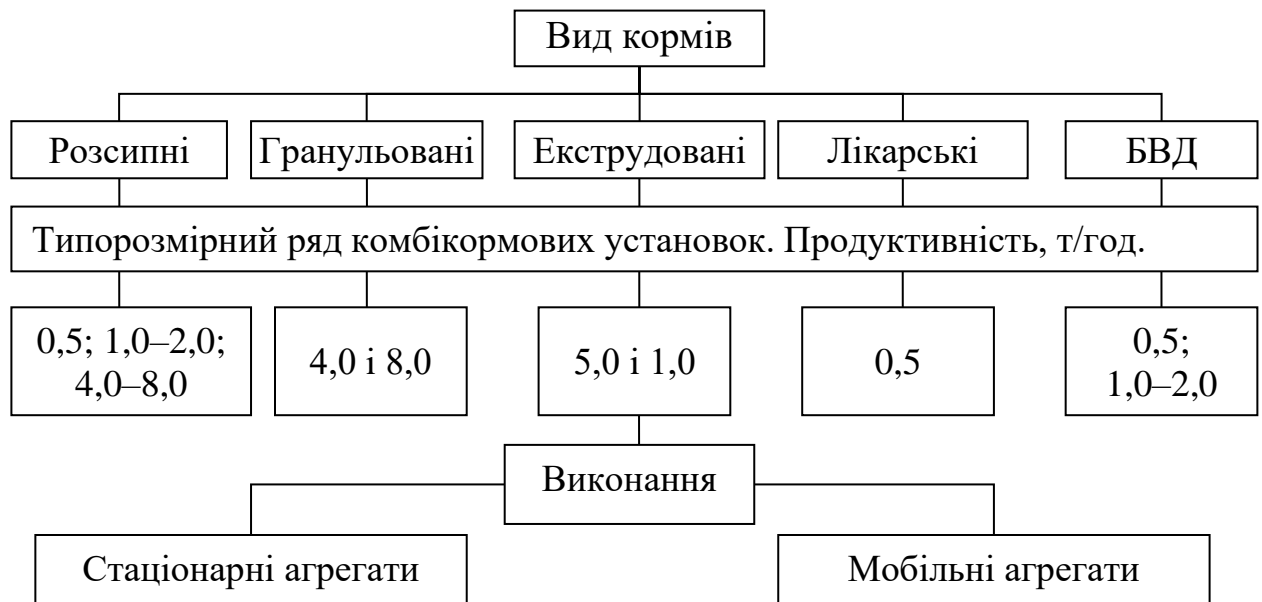


Рисунок 1.2 - Класифікація машин з виробництва комбікормів в умовах господарств

При добовій потребі у комбікормах до 1,0 т, фермеру, як правило, невідно використовувати комбікормову установку. Тому тут доцільне використання мобільних агрегатів продуктивністю 1,0...2,0 т/год, за допомогою яких можна обслуговувати ферми за графіком чи у разі потреби. Привод таких агрегатів – від електродвигуна або ВВП трактора.

У табл. 1.1 наведені дані відносно ефективного використання технологічного обладнання в залежності від виду та чисельності тварин.

Таблиця 1.1 - Залежність продуктивності малогабаритних комбикормових агрегатів від поголів'я

Тип обладнання	Продуктивність, т/год.	Потреба у комбикормах, т/доб.	Рекомендується для господарств із поголів'ям		
			свиней	ВРХ	овець
Розмельно-змішувальна установка	0,5	1,0 – 4,0	до 2000	до 400	до 6000
Комбикормовий агрегат	1,0	4,0 – 8,0	4000	1000	12000
Комбикормовий агрегат	2,0	15 – 30	до 6000	2000	25000
Комбикормовий цех	4,0	30 – 50	до 12000	4000	–
Міжгосподарське комбикормове підприємство	8,0	60 – 120	–	–	–

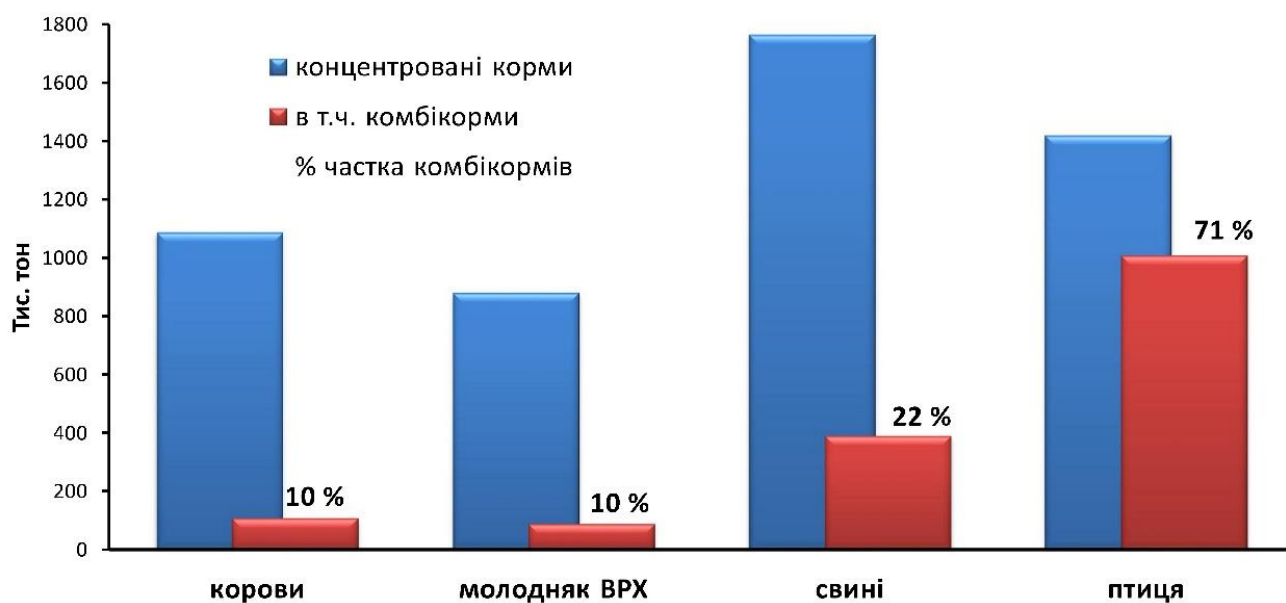


Рисунок 1.3 – Споживання комбикормів у 2022 році

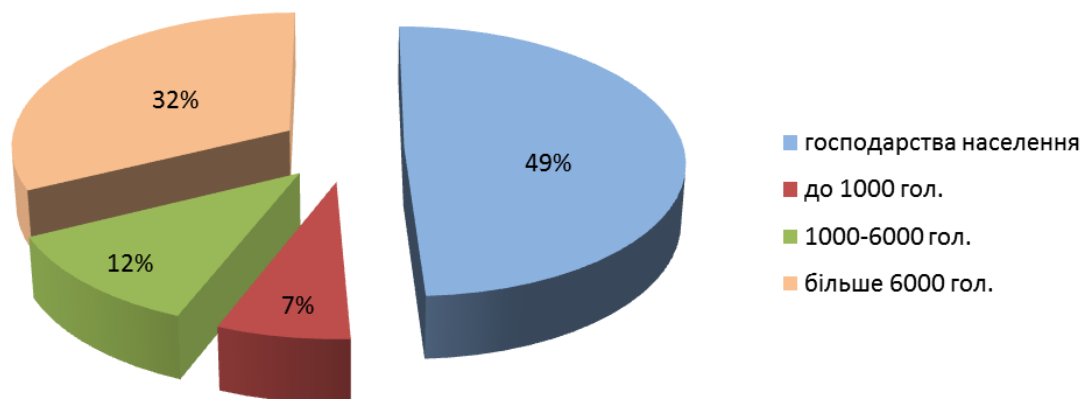


Рисунок 1.4 – Розподіл поголів'я свиней за категоріями та видами господарств

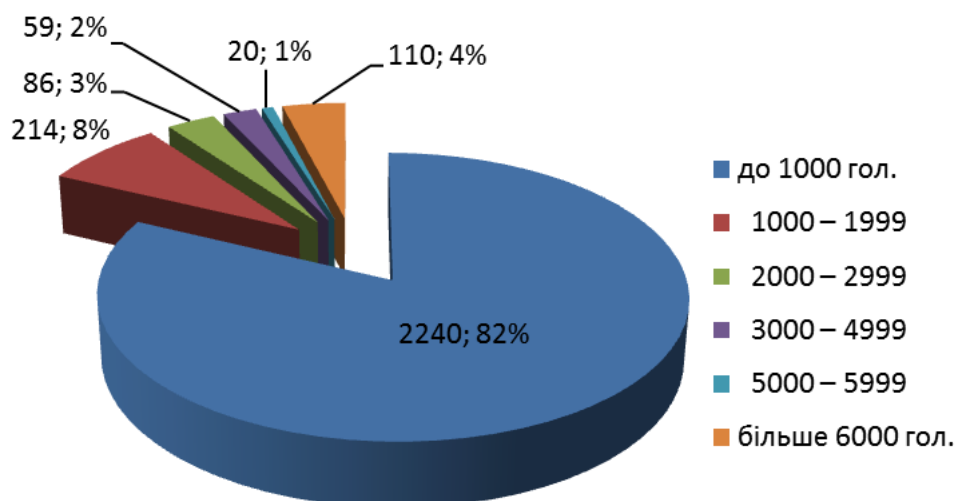


Рисунок 1.5 - Групування сільськогосподарських підприємств за наявністю поголів'я свиней

Тому для невеликих фермерських господарств АПК необхідним є збільшення обсягів виробництва комбікормів, поліпшення їхньої якості та асортименту, а також використання місцевої сировинної бази, що вимагає створення міжгосподарських (арендно-кооперативних) і фермерських малогабаритних комбікормових цехів. Для цього необхідні відносно невеликі за розмірами, надійні, прості в експлуатації і порівняно недорогі подрібнюючо-дозуючо-змішувальні агрегати та установки, які дозволяють готувати якісні комбікорми із місцевої

сировини та різноманітних покупних добавок.

1.2 Аналіз конструкцій змішувачів сипких кормів

Існуючі на сьогоднішній день змішувачі мають величезну різноманітність конструкцій та принципів роботи, що різняться між собою за призначенням та реалізацією процесу змішування. Тому класифікація змішувачів, що базується на окремих відмітних елементах конструкції, є дуже скрутним завданням. Скористаємося класифікацією на основі ключових елементів конструкції та принципів їхньої роботи.

Однією з особливостей або характеристик змішувачів є схема (принцип) змішування. Виділяють схему періодичної дії, де змішуються компоненти завантажуються в ємність - перемішуються - повністю вивантажуються і тільки потім завантажується нова порція, і безперервної дії, де процеси завантаження, змішування та вивантаження здійснюється безперервно.

Аналіз практичного застосування змішувачів періодичної та безперервної дії дозволяє зробити висновок про те, що:

- питома продуктивність (продуктивність змішувача, віднесена до його маси) у змішувачів періодичної дії, як правило, менше;
- у змішувачів періодичної дії енергоємність, як правило, вище, ніж у змішувачів безперервної дії, оскільки корм усередині пристрої циркулює багаторазово;
- змішувачі безперервної дії підходять для великих обсягів змішування;
- у змішувачах періодичної дії значно простіше отримати високоякісні суміші та рівномірно розподілити компоненти по всій масі суміші;
- у змішувачах безперервної дії можливості внесення мікродобавок у кормову суміш обмежені.

Тому для змішування багатокомпонентних та отримання найбільш однорідних кормових сумішей рекомендується використовувати змішувачі періоди-

чного дії. Будь-яку машину або механізм оцінюють за енергетичними, ергономічними показниками, за надійністю конструкції та якістю одержуваного продукту.

Для змішувача ці параметри виглядають так:

- можливості отримання кормової суміші різної вологості;
- однорідності одержуваної суміші;
- питомої енергоємності процесу змішування;
- зручності експлуатації та обслуговування змішувача;
- технічної надійності конструкції та довговічності робочих елементів.

Одним з найважливіших елементів конструкції змішувача, що безпосередньо впливає на його роботу є камера змішування. Бувають пристрої з циліндричною, прямокутною та U – образною формою, а також з близька до еліпсоїда.

Залежно від конструктивно-технологічної схеми їх виконують у нерухомому чи рухомому вигляді. При використанні рухомої камери змішувача виділяють такі переваги:

- компоненти суміші менше схильні до подрібнення робочими органами змішувача;
- немає місць для утворення застійних зон усередині змішувальної камери, що дозволяє отримувати продукт вищої якості.

Але змішувачі такого типу мають такі недоліки:

- для забезпечення ефективного змішування потрібно близько 15 ... 20% вільного простору усередині камери змішування;
- конструкція змішувача, побудованого на основі корпусу, що обертається, представляється дуже складною, так як потрібно обертати великі маси як самого корпусу, так і завантаженого в нього об'єму корми.
- привід таких змішувачів повинен здійснюватись двигунами високої потужності;
- пред'являються особливі вимоги до робочого майданчика, де встановлюється змішувач такого типу.

Необхідно виключити вплив корпусу на обслуговуючий персонал, що вимагає виготовлення захисних огорож.

У змішувачах, оснащених нерухомим корпусом, змішування здійснюється тільки за допомогою робочих органів, встановлених на валах, що обертаються. Відомі конструктивно-технологічні схеми змішувачів з одним, двома, трьома, чотирма та шістьма валами з робочими органами. Тому місце розміщення валів має велике значення на процес приготування кормової суміші, а також конструктивні та габаритні особливості самого змішувача. Наприклад, змішувачі, побудовані на основі одного робочого валу, відрізняються простотою та надійністю конструкції, однак мають великі габаритні розміри та низьку продуктивність.

Пристрої з вертикальним або похилим розташуванням валів зазвичай використовують для об'єднання декількох технологічних функцій, наприклад, дозовану видачу. Змішувачі, побудовані на основі одного робочого валу, відрізняються великими габаритними розмірами та низькою продуктивністю. Зниження енергоємності процесу змішування можливе за рахунок переміщення потоків зерна під дією сили тяжіння, що реалізується в гравітаційних змішувачах. Процес таких пристроїв полягає в тому, що кілька видів сипучих компонентів корму під дією сили тяжіння закінчуються всередині змішувальної камери, при цьому потоки компонентів стикаються з пасивними робочими органами.

Відбуваються множинні завихрення, порушуються швидкості руху потоків зерна, що призводить до їхнього взаємопроникнення. Для забезпечення ефективної роботи таких пристроїв потрібні великі габаритні розміри змішувальної камери. Розглянутий клас пристроїв відрізняється низькими питомими витратами енергії та невисокою якістю, що готується суміші.

Відомий ряд способів покращення робочого процесу гравітаційних змішувачів. Використання вібрації сипучої маси при її закінченні під дією сили тяжіння призводить до значного поліпшення якості суміші, що готується. Іноді гравітаційні змішувачі додатково забезпечують активними робочими органами, що також підвищує коефіцієнт однорідності кормосуміші, що готується. Розроблено змішувачі, що дозволяють обробляти зернову масу стисненим повітрям перед змішуванням. Така обробка змінює величину тертя всередині сипучого середовища, що призводить до зміни характеру взаємодії сипких потоків корму

при їх вилучення, частки різнорідних компонентів активніше проникають в масу один одного, і, зрештою, якість суміші, що готується, значно підвищується

В даний час промисловістю випускаються як універсальні моделі змішувачів, так і призначені під кожен вид корму (сінаж, сіно, зерно і т.д.) або його тип (сухі, вологі або рідкі). Найбільш технологічним видом вироблених кормосумішей є сухі розсипчасті корми. Це пов'язано з їх фізико-механічними характеристиками:

- кормова суміш має можливість зберігатися тривалий час без втрати якості;

- для отримання готового продукту можливе використання компонентів із різною щільністю;

- готовий продукт не вимагає спеціальних умов та техніки для зберігання та транспортування. Для змішування сухих розсипчастих кормосумішей зазвичай використовують стаціонарні змішувачі з нерухомою вертикальною або горизонтальною камерою змішування. Досить поширеним конструктивним виконанням змішувача є вертикальна камера змішування, що обумовлено малою площею, і відносно простим і рівномірним вивантаженням готового продукту. При цьому процес змішування здійснюється внаслідок руху шарів змішуваних інгредієнтів знизу вгору або зверху вниз по периферії або центр камери змішування.

Змішувачі з горизонтально розташованою камерою змішування можуть використовуватися для змішування як сухих, так і вологих кормових інгредієнтів суміші, за винятком лише рідких кормових сумішей. Горизонтальні змішувачі в цілому, відрізняються простотою у виготовленні та зручністю в експлуатації. Також до особливостей цих змішувачів відносять можливість поєднання процесу змішування із запарюванням або з подрібненням компонентів корму, що готується. Порційний змішувач СМ-2, представлений рис. 1.6, складається з робочих органів у вигляді мішалок, розташованих співвісно з корпусом і вертикальний циліндр з невеликим конічним усіченням у нижній частині, бічного вивантаження та приводу.



Рисунок 1.6 – Змішувач SM-2

Достоїнством цієї конструкції є простота та висока технічна надійність. До недоліків можна віднести низьку автоматизацію, а саме необхідність ручного введення інгредієнтів, що змішуються.

Найпоширенішою конструкцією вертикального змішувача є вертикальний шнековий змішувач, який широко виробляється різними підприємствами. Особливістю цих змішувачів є те, що вони підходять для змішування лише сухих інгредієнтів. Принцип роботи полягає в тому, що дозовані інгредієнти заздалегідь послідовно (або одночасно) подаються до нього, а перемішування здійснюється безпосередньо під час завантаження. При цьому відповідальні інгредієнти або добавки можуть вводитися до складу суміші через спеціальну бічну кишеню. Процес змішування відбувається за рахунок одного вертикального шнека або кількох шнеків.

Змішувачі, представлені на рис. 1.7, використовуються спільно з дробарками, оснащеними пневмотранспортом, де камера змішування змішувача додатково грає роль осадової камери циклону. Тому додатково комплектуються си-

стемами аспірації повітря. Також за рахунок руху повітряно-продуктових потоків усередині змішувача здійснюється допоміжний процес перемішування інгредієнтів.

До переваг цього виконання вертикальних змішувачів відносять:

- надійність та простота конструкції;
- автоматизація процесу завантаження;
- можливість отримання збалансованої суміші за власною рецептурою;
- досить висока якість одержуваного продукту.

До недоліків відносять:

- можливість зводоутворення всередині камери змішування під час розвантаження;
- сегрегацію інгредієнтів за розміром частинок;
- неможливість вивантаження всього приготовленого комбікорму без застосування ручної праці.

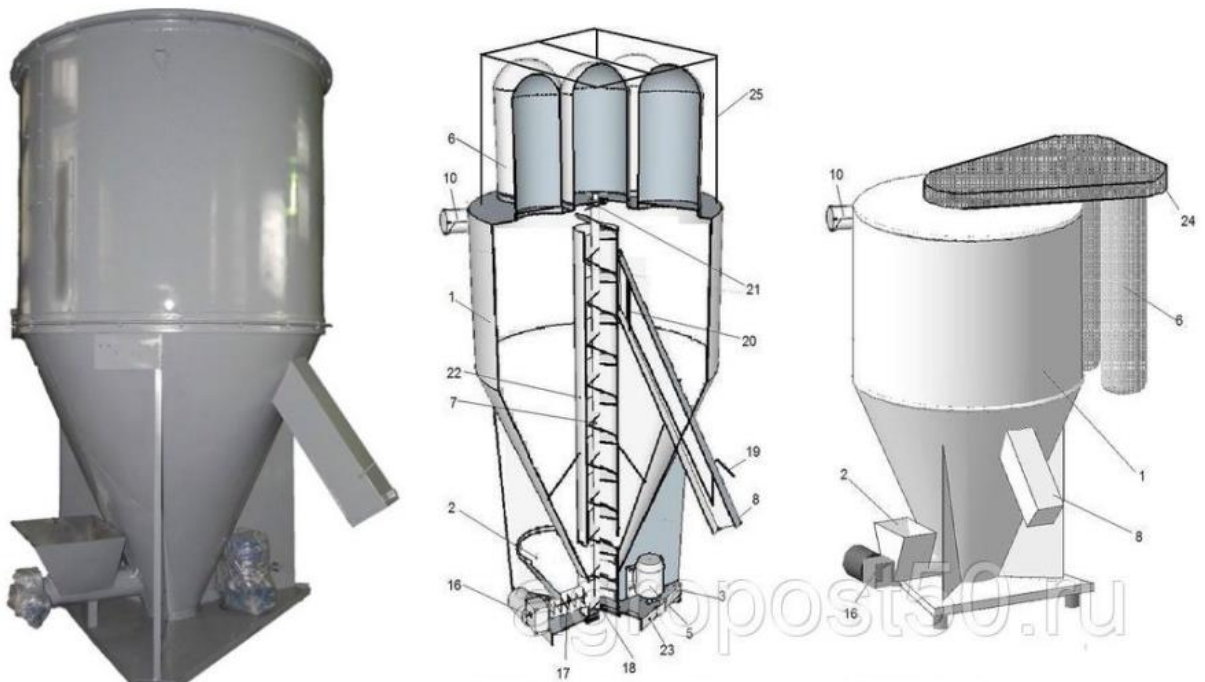


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд вертикальних шнекових змішувачів кормів

Одним із варіантів конструкцій вертикальних змішувачів зі шнековими робочими органами є планетарно-шнекові змішувачі (рис.1.8). Вони дозволяють зберегти всі переваги вертикально-шнекових змішувачів і позбавитися від

ряду їх недоліків: можливість змішування інгредієнтів з різною щільністю і фізико-механічними властивостями, виключення появи застійних зон і сводоутворення при вивантаженні, а також отримання продукту з ще вищою однорідністю. Однак це вимагає створення складнішої кінематичної схеми приводу робочих органів (планетарного механізму). Така конструкція приводу вимагає якісного та своєчасного обслуговування, а також характеризується великими енергетичними витратами на процес змішування та тривалим розвантаженням.

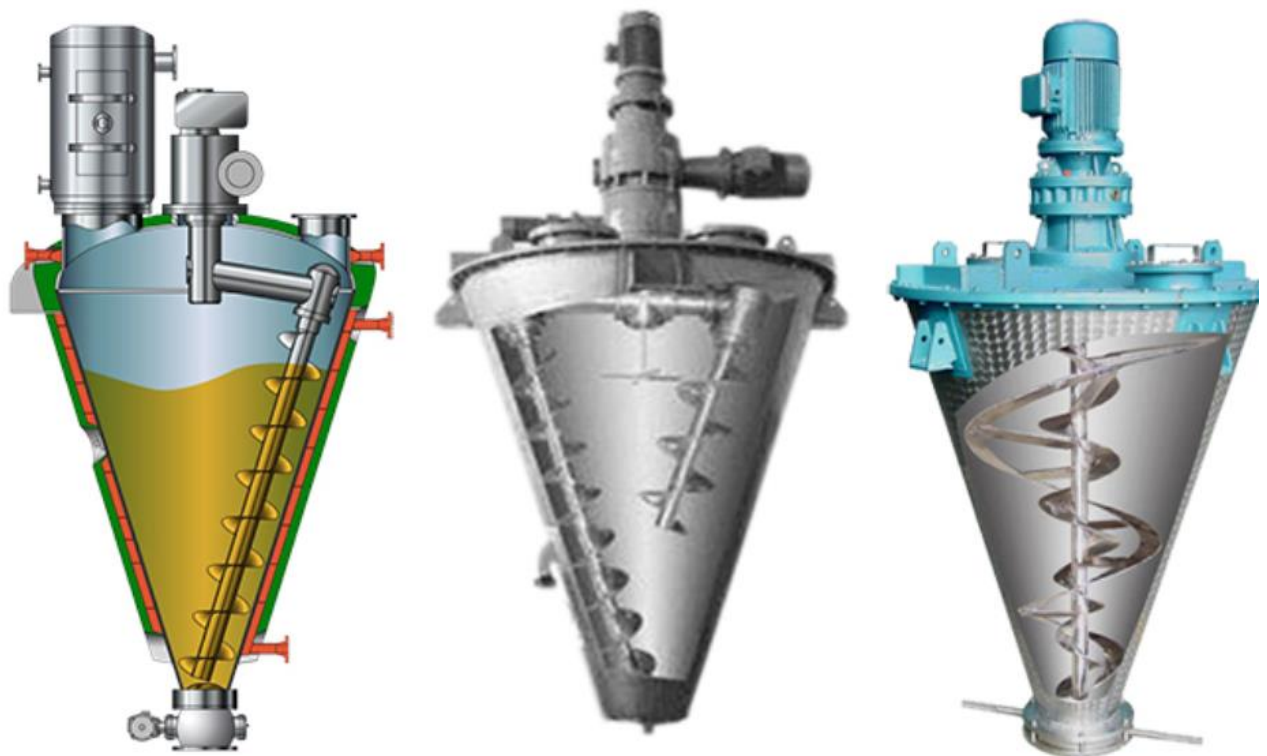


Рисунок 1.8 - Варіанти планетарно-шнекових змішувачів

Принцип роботи такого змішувача полягає у обертанні шнека навколо власної осі та осі корпусу змішувача. Змішування відбувається дуже плавно і без руйнівного впливу для інгредієнтів, що змішуються. Внаслідок руху планетарного механізму матеріал підхоплюється шнеком і піднімається по стінці камери змішування конічної форми. Після цього він рухається до осі корпусу, у результаті утворюється низхідний потік. У вузькій частині конічного корпусу матеріал захоплюється і починає рухатись вгору. Таким чином він інтенсивно

циркулює по всій камері змішування. Все це сприяє якісному змішуванню різних компонентів за мінімальний час.

Горизонтальні стрічкові змішувачі. Робота горизонтального змішувача здійснюється наступним чином: інгредієнти завантажуються в бункер змішувача (камеру змішування), де вони зазнають інтенсивного впливу робочих органів, виконаних у вигляді гвинтової поверхні. Як робочі органи застосовуються мішалки і шнеки (одно- і багатозахідні гвинти, зі змінним і постійним кроком, з правою і лівою навивкою і т.д.) різних форм та конструкцій (рис. 1.9).

Найбільш широке застосування серед конструкцій горизонтальних змішувачів отримали змішувачі зі стрічковими робочими органами. У камері змішування таких змішувачів переміщення шарів матеріалу здійснюється стрічкою, розташованою на двох і більше рівнях і виконаною у вигляді цільної гвинтової поверхні. Змішувачі, оснащені стрічковими робочими органами, призначені для змішування сипких матеріалів.

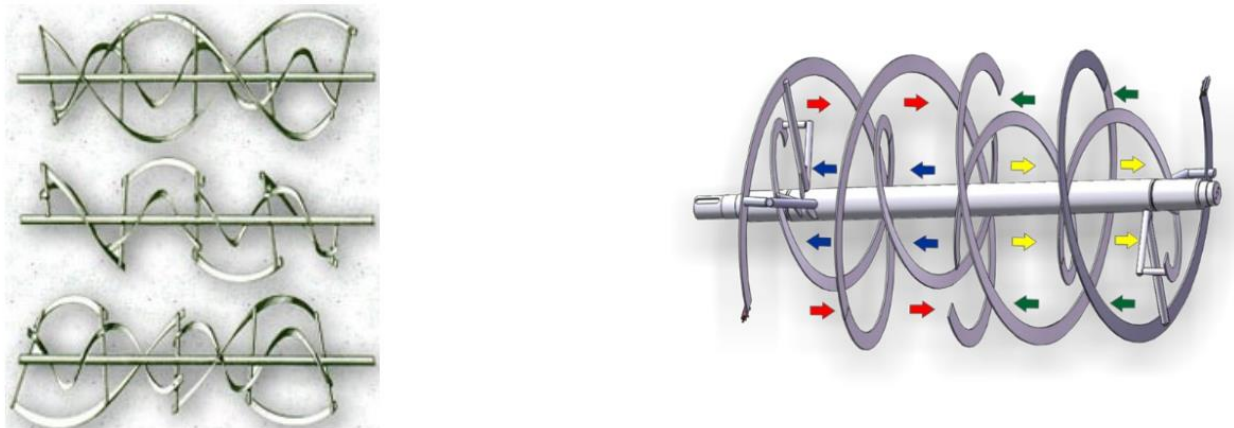


Рисунок 1.9 – Робочі органи горизонтального стрічкового змішувача: а) загальний вид; б) схема переміщення матеріалу

Змішувач УК-2.10.000-01 (рис. 1.10), що випускається ПАТ «Завод «Ніжинсільмаш»» (Україна) має такі особливості: отримання кормосумішей з вологістю трохи більше 15%; підтримка структури корму в процесі змішування через відсутність нагріву та переподрібнення інгредієнтів при змішуванні. Він

оснащений дворівневим шнеком, причому внутрішній шнек переміщує матеріал від вивантаження до протилежного торця камери змішування, а шнек зовнішній до вивантаження.



Рисунок 1.10 – Змішувач горизонтальний шнековий УК-2.10.000-01

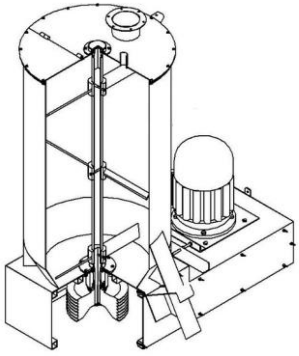
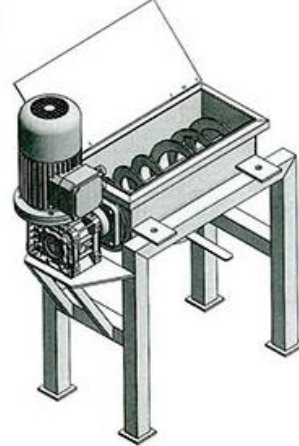
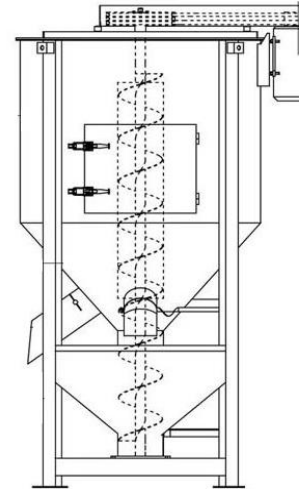
Стрічковий змішувач серії СГЛ (рис. 1.11) оснащується двозахідною спіральною стрічкою великого діаметра і такою ж стрічкою, але меншого діаметра з протилежним напрямком навивки, що дозволяє здійснювати хаотичне переміщення сипучого матеріалу по робочому обсягу змішувача.



Рисунок 1.12 – Змішувач СГЛ

Порівняємо найбільш поширені типи змішувачів за основними характеристиками (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Порівняльні характеристики різних типів змішувачів порційного типу

Конструктивна схема	Тип	Однорідність змішування, %	Питома енергоємність, кВт/т	Об'єм змішування, м	Призначення
	Вертикальний лопатковий	90...96	3,6...5,5	0,08...0,6	приготування преміксів, БМВД
	горизонтальний стрічково-гвинтовий	95...97	2,25...3,25	0,25...2,5	приготування преміксів, БМВД, комбікормів
	вертикальний шнековий	85...90	0,75...1,85	0,5...4,4	приготування комбікормів

Як видно з табл. 1.3, найкращі показники по якості змішування мають горизонтальні змішувачі, оснащені стрічково-гвинтовим робочим органом, при

цьому питома енергоємність процесу знаходиться на середньому рівні. В зв'язку з цим, до розробки нами приймається горизонтальний змішувач зі стрічково-гвинтовим робочим органом.

1.3 Висновки до розділу

На підставі виконаного огляду існуючих технологій виробництва комбікормів, було визначено, що перспективним для дослідження за критеріями якості, енерго- та ресурсозбереження, а також універсальності застосування є спосіб порційного змішування сипучих компонентів комбікормів, оскільки впровадження його у технологічну схему дає можливість використовувати його в існуючих схемах малих комбікормових агрегатів.

Вимоги до скорочення поопераційного складу технологічних процесів, зменшення витрат енергії на його реалізацію та підвищення якості готової продукції обумовили створення різних методів переробки зерна при виробництві комбікормів. На їх основі можливі рішення конкретних завдань при розробці компактних технологічних процесів виробництва комбікормів на агрегатному обладнанні.

Теоретичні основи процесу змішування пророблені поки ще недостатньо і у цьому зв'язку потрібне залучення нових прикладних розділів технічної механіки з метою опису особливостей руху матеріальних часток при утворенні суміші комбікормів.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ

2.1 Параметрична модель процесу змішування

Моделювання (фізичне, геометричне, математичне) знайшло широке застосування в різних областях науки і техніки. Застосовують моделі: для розкриття механізму явища; для встановлення технологічних режимів; для визначення параметрів машин і обладнання; для визначення характеристик систем управління. Використовування цього методу приводить до зменшення трудомісткості експериментів, зниженню матеріальних витрат і термінів проведення досліджень. Проте багато дослідників обмежуються або геометричним моделюванням, або динамічним, без використання елементів математичного моделювання, що приводить до певних похибок.

В багатьох роботах неодноразово наголошувалося, що процес змішування сипучих компонентів комбікормів носить складний характер вірогідності, що не підлягає строго детермінованому опису. Тому чинники і параметри, що визначають якісну сторону процесу, встановлені нами в результаті власних досліджень і згідно апріорним даним.

Представимо процес змішування сипучих компонентів у вигляді параметричної моделі функціонування системи “кормова суміш – змішувач”, що має вхідні і вихідні параметри (рис. 2.1).

За вихідний параметр приймемо – нерівномірність змішування V_c , як основний критерій оцінки процесу змішування різних компонентів.

Оскільки процес змішування сипких матеріалів носить складний характер вірогідності, то його можна описати з достатньою достовірністю у вигляді наступного функціонального співвідношення (2.1)

$$V_c = f(\{X_i^c\}; \{X_i^v\}; \{Y_k\}; \{Z_m^c\}; \{Z_m^v\}) \quad (2.1)$$

де X_i^c, X_i^v – відповідно постійний і змінний параметри конструкції i -го елемента змішувача;

Y_k – k -й режим роботи змішувача;

Z_m^c, Z_m^v – відповідно постійна і змінна m -на характеристика оброблюваної суміші.

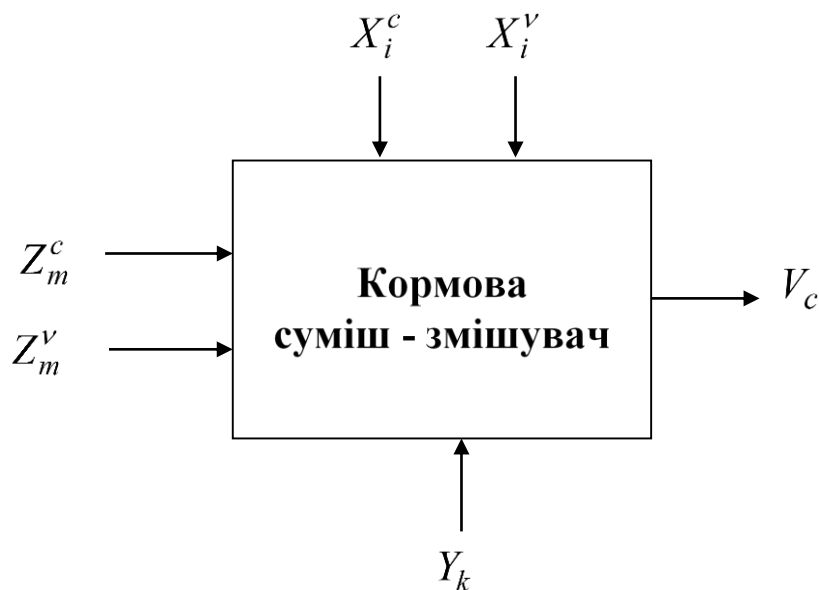


Рисунок 2.1 - Параметрична модель функціонування системи “кормова суміш – змішувач”

Згідно рис. 2.1 і співвідношення (2.1) всі вхідні параметри технологічної моделі функціонування системи “кормова суміш – змішувач” розділимо на три групи.

Перша група характеризує конструктивні параметри змішувача X_i . Це діаметр гвинта D , величина кроку гвинта S , довжина гвинта L , зазор між гвинтом і корпусом Δ .

До другої групи відносяться параметри, які характеризують властивості оброблюваної суміші Z_m . Сюди відносяться: середній розмір частинок суміші

δ , маса суміші m , її вологість W , кут природного укосу φ , густина ρ , коефіцієнти внутрішнього f_e і зовнішнього f тертя, прискорення вільного падіння g .

Третю групу входних параметрів характеризує режим роботи змішувача Y_k . Це частота обертання гвинта n , колова швидкість гвинта $v_{ок}$, коефіцієнт динамічності змішувача K_d .

Для подальшого моделювання системи необхідно дотримувати ряд вимог, яким повинна задовольняти модель змішувача. В першу чергу до них відноситься те, щоб процеси, що відбуваються в моделі, були подібні процесам, що протікають в натурному зразку (оригіналі).

Тому приймаємо наступні умови фізичного моделювання:

- критерії подібності, що визначають процес змішування сипучих компонентів для моделі і оригіналу, чисельно рівні;
- модель і оригінал геометрично подібні;
- початкові умови, що характеризують подачу компонентів суміші в моделі, подібні відповідним умовам натурального зразка;
- фізичні властивості компонентів суміші моделі і оригіналу ідентичні;
- граничні умови моделі подібні граничним умовам натурального зразка.

Таким чином, для отримання теоретичної моделі технологічного процесу змішування сипучих компонентів комбікормів необхідно:

- провести моделювання системи “кормова суміш – змішувач”.
- провести обґрунтування технологічних та конструктивних параметрів робочого органу змішувача;
- визначити енергетичні параметри при роботі змішувача.

2.2 Теоретична модель переміщення корму в змішувачі

Для того, щоб описати роботу шнекових змішувальних пристроїв, прийнято розглядати рух ізольованої матеріальної точки на стрічці робочого органу з урахуванням впливу стінок бункера. Це означає, що ми розглядаємо кожну

частинку суміші як окрему матеріальну точку і вивчаємо, як вона рухається по стрічці під впливом сили тертя зі стінками бункера.

Залежно від стану суміші її можна розглядати як зв'язно-сипуче тіло. Це означає, що суміш має властивості як твердих, так і сипучих тіл. Якщо суміш має властивості твердого тіла, то її частки не рухаються одна відносно одної. Якщо суміш має властивості сипучого тіла, то її частки рухаються одна відносно одної хаотично. Розроблюваний змішувач представляє собою бункер із розміщеним всередині нього стрічково-гвинтовим змішувачем.

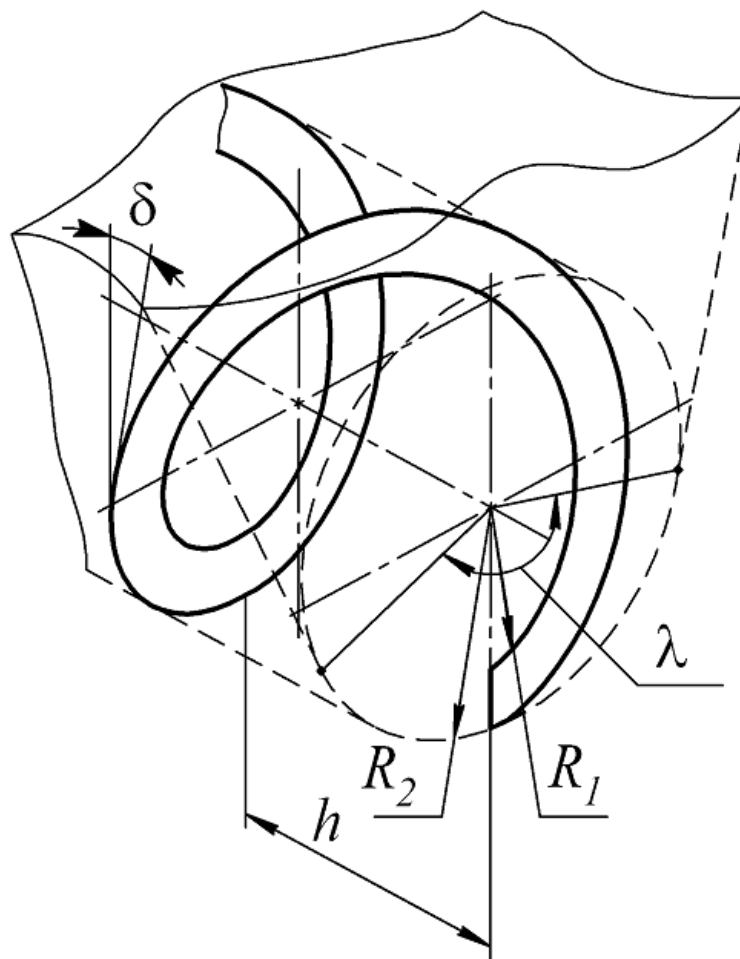


Рисунок 2.3 – Схема змішувача

Для часток суміші, які рухаються у бункері через обертання гвинтової стрічки, можуть виникнути два сценарії:

Частка торкається лише гвинта (по всій поверхні стрічки, яка занурена у суміш).

Частка торкається гвинта і внутрішньої циліндричної поверхні бункера (на ділянці дна бункера, обмеженій кутом λ).

Давайте розглянемо перший випадок. Нехай дискретна частка суміші M (рис. 2.4) рухається по внутрішній поверхні стрічки гвинта. Введемо абсолютну систему координат x, y, z , що жорстко зв'язана з бункером. У точці M введемо полярну систему координат r, φ, z , яка обертається разом із стрічкою навколо осі z відносно бункера із постійною кутовою швидкістю ω . Слід відзначити, що радіальна координата частки M знаходиться в межах $R_1 \leq r < R_2$.

Модуль відносної швидкості частки M визначається за формулою:

$$v_{\text{вдн}} = \sqrt{v_r^2 + v_\varphi^2 + v_z^2} = \sqrt{(\dot{r})^2 + r^2(\dot{\varphi})^2 + (\dot{z})^2}. \quad (2.2)$$

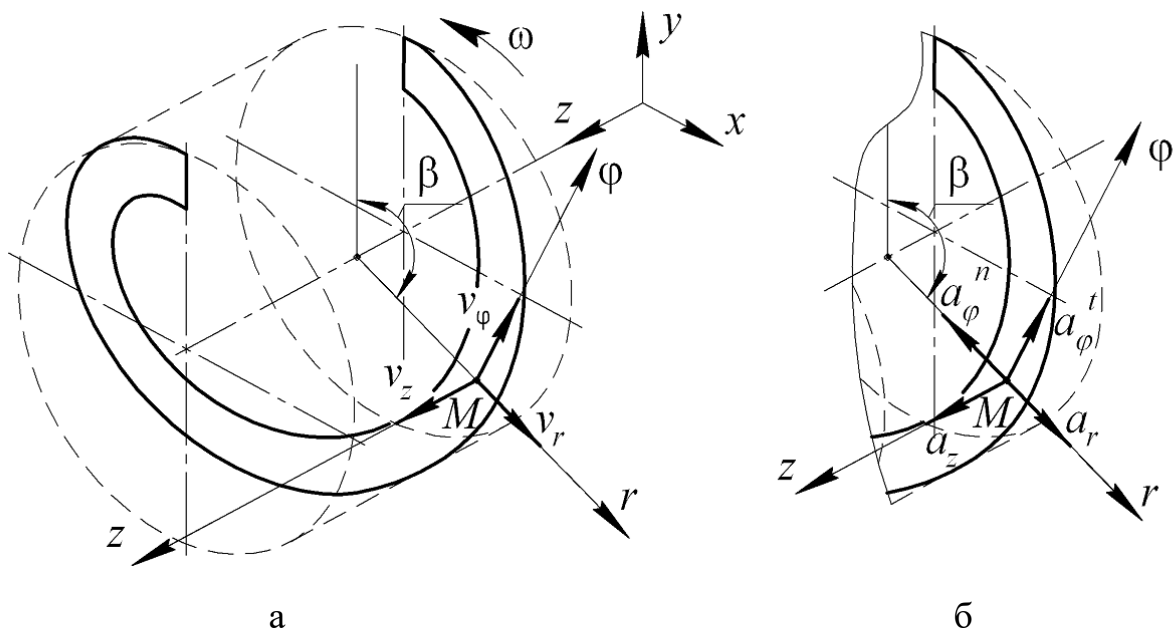


Рисунок 2.4 – Схема руху частки M за умови $R_1 \leq r < R_2$: а – проєкції відносної швидкості; б – відносного прискорення

Абсолютне прискорення частки M у нашому випадку складається з переносного прискорення обертання стрічки гвинта ($a_{\text{пер}}$), відносного прискорення

частки при русі відносно стрічки ($a_{ВДН}$), та коріолісового прискорення ($a_{КОР}$).

Переносне прискорення - це прискорення точки стрічки, яка в даний момент часу збігається з часткою М. Величина переносного прискорення

$$a_{ПЕР} = \omega^2 \cdot r, \quad (2.3)$$

де ω – кутова швидкість обертання гвинта;

r – радіус-вектор положення точки М.

Відносне прискорення точки М (рис. 2.4, б):

$$\vec{a}_{ВДН} = \vec{a}_r + \vec{a}_\varphi + \vec{a}_z, \quad (2.4)$$

де a_r – радіальне прискорення;

a_φ – прискорення частки М по координаті φ , розкладемо його на нормальну і тангенціальну складові: $a_\varphi^n = r\dot{\varphi}^2$; $a_\varphi^t = r\varepsilon = r\ddot{\varphi}$;

a_z – прискорення вздовж осі z .

Коріолісове прискорення точки у складному русі дорівнює:

$$\vec{a}_{КОР} = 2(\vec{\omega} \times \vec{v}_{ВДН}), \quad (2.5)$$

де $v_{ВДН}$ – відносна швидкість точки М.

Спроекуємо складові абсолютного прискорення на осі полярних координат (табл. 2.2).

Основне рівняння динаміки для абсолютного руху частки М має вигляд:

$$m\vec{a} = \sum \vec{P}_i, \quad (2.6)$$

де m – маса частки суміші М;

a – абсолютне прискорення частки М;

ΣP_i – векторна сума прикладених до частки M сил.

Таблиця 2.2 – Проекції складових абсолютного прискорення на полярні осі r, φ, z за умови $R_1 \leq r < R_2$

Вісь	$a_{\text{ПЕР}}$	$a_{\text{ВІДН}}$			$a_{\text{КОР}}$
		a_r	a_φ	a_z	
r	$-\omega^2 \cdot r$	\ddot{r}	$-r(\dot{\varphi})^2$	0	$2\omega r \dot{\varphi}$
φ	0	0	$r\ddot{\varphi}$	0	$-2\omega \dot{r}$
z	0	0	0	\ddot{z}	0

На частку M діють сили (рис. 2.5): G – сила тяжіння; $N_{\text{ш}}$ – нормальна реакція стрічки; $F_{\text{ш}}$ – сила тертя по стрічці.

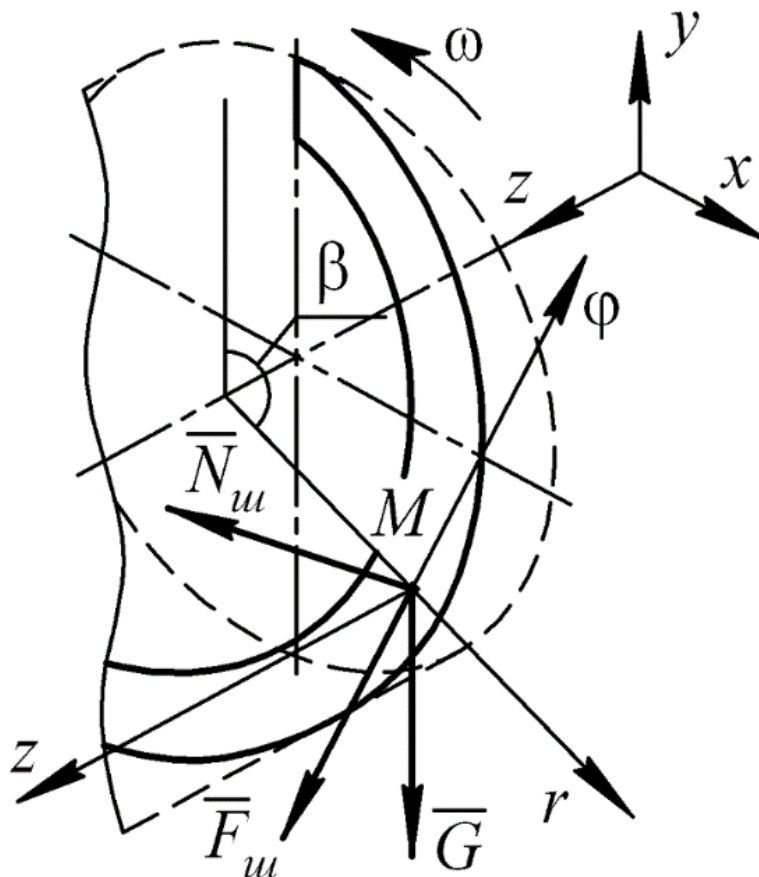


Рисунок 2.5 – Схема сил, що діють на частку суміші M за умови $R_1 \leq r < R_2$

Сила тяжіння G :

$$G^r = mg \cos \varphi;$$

$$G^\varphi = -mg \sin \varphi;$$

$$G^z = 0.$$

Нормальна реакція стрічки $N_{ш}$ перпендикулярна до гвинтової стрічки і перпендикулярна до вісі r . Причому, кут δ визначається із співвідношення $\operatorname{tg} \delta = h/2\pi r$.

Тобто маємо:

$$N_{ш}^r = 0; N_{ш}^\varphi = N_{ш} \sin \delta; N_{ш}^z = N_{ш} \cos \delta. \quad (2.7)$$

Напрямок сили тертя ($F_{ш}$) на частку M вздовж стрічки визначається напрямом дотичної до лінії перетину стрічки і уявної циліндричної поверхні. Ця поверхня проходить через точку M і має вісь, яка співпадає з осью гвинта.

$$F_{ш}^r = 0; F_{ш}^\varphi = -k_f N_{ш} \cos \delta; F_{ш}^z = k_f N_{ш} \sin \delta, \quad (2.8)$$

де k_f – коефіцієнт тертя частки суміші по стрічці гвинта.

З урахуванням вищевикладеного запишемо:

$$\begin{cases} m(-\omega^2 r + \ddot{r} - r(\dot{\varphi})^2 + 2\omega r \dot{\varphi}) = mg \cos \varphi; \\ m(r\ddot{\varphi} - 2\omega \dot{r}) = -mg \sin \varphi + N_{ш}(\sin \delta - k_f \cos \delta); \\ m\ddot{z} = N_{ш}(\cos \delta + k_f \sin \delta). \end{cases} \quad (2.9)$$

Аналізуючи систему диференціальних рівнянь другого порядку (2.9), ми визначаємо, що функції руху частки M , такі як $r=r(t)$, $z=z(t)$, а також реакція гвинта $N_{ш}=N_{ш}(t)$, є невідомими. Також виявляється, що на кінематичні характеристики руху часток суміші впливають геометричні параметри змішувача, кінематичних характеристик руху робочого органа (кутова швидкість гвинтової

стрічки) і властивостей самої суміші, таких як коефіцієнт тертя суміші по стрічці та бункеру.

Представлення розв'язку системи (2.9) у вигляді аналітичного виразу пов'язане зі значними складнощами. Однак числовий розв'язок цієї системи може бути знайдений за допомогою комп'ютерного програмування, наприклад, використовуючи математичний пакет Maple.

Графічне зображення розв'язку системи диференціальних рівнянь (2.38) представлено у вигляді графіків функцій r , φ та z в залежності від кута повороту гвинта ωt для одного оберту (циклу роботи), як показано на рисунку 2.6.

На графіку видно, що протягом часу, що відповідає повороту стрічки гвинта на кут близько π радіанів, частка суміші переміщується від R_1 до R_2 вздовж стрічки гвинта (штрихована лінія). При цьому переміщення вздовж вісі стрічки (вісь z) складає близько $1,1R_2$. Від'ємні значення функції φ вказують на те, що частка M обертається повільніше, ніж стрічка гвинта.

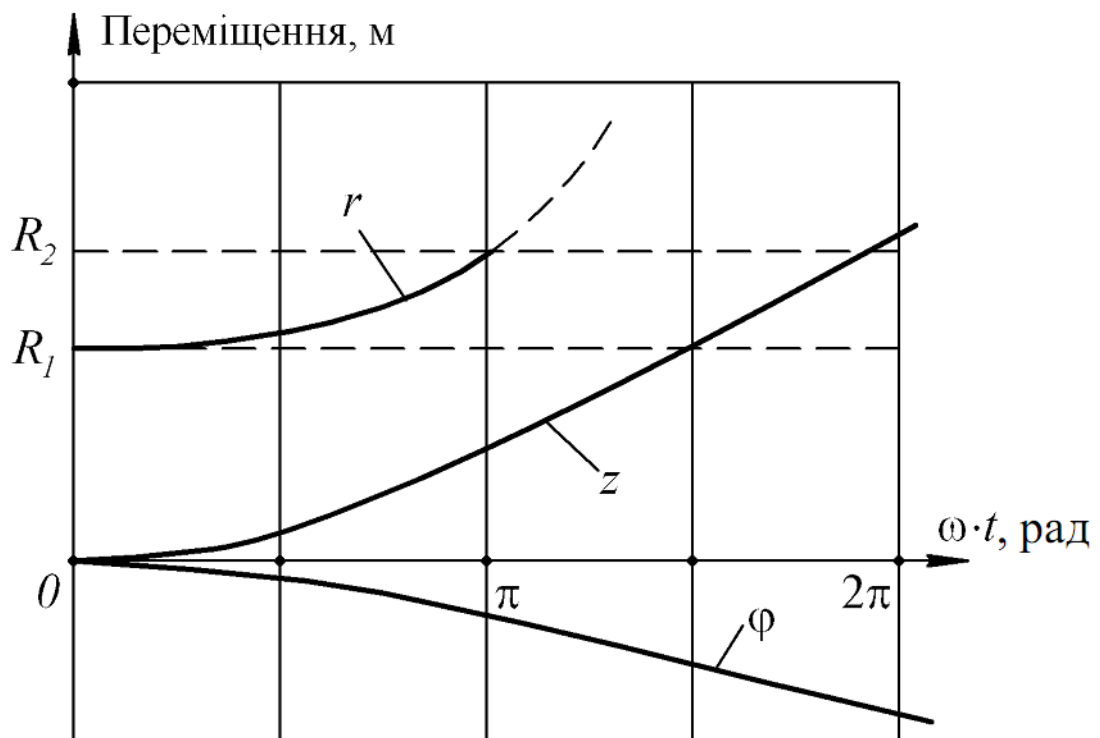


Рисунок 2.6 – Графічний розв'язок системи диференціальних рівнянь (2.9)

Розглянемо другий сценарій. Припустимо, що частка суміші M (рис. 2.7) рухається по дну бункера на ділянці, обмеженій кутом λ (див. рисунок 2.3), і торкається гвинта. У цьому випадку радіальна координата частки M залишається постійною і дорівнює R_2 .

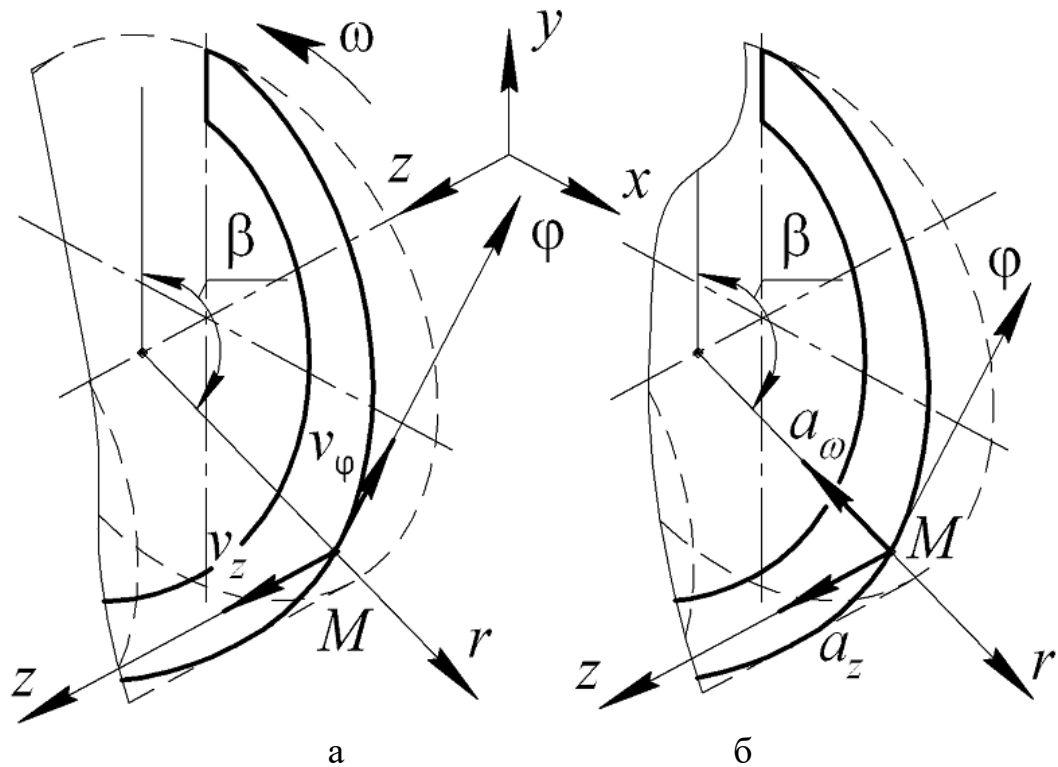


Рисунок 2.7 – Схема руху частки M за умови $r = R_2$:
 а – проєкції відносної швидкості; б – відносного прискорення

Таблиця 2.3 – Проекції складників абсолютного прискорення
 на полярні осі за умови $r = R_2$

Вісь	$a_{\text{ПЕР}}$	$a_{\text{ВІДН}}$	
		a_{ω}	a_z
r	$-\omega^2 \cdot r$	$-r(\dot{\phi})^2$	0
ϕ	0	0	0
z	0	0	\ddot{z}

У цьому випадку на частку M діють наступні сили (рис. 2.8): G – сила тяжіння; $N_{ш}$, $N_{б}$ – відповідно нормальні реакції гвинта та бункера; $F_{ш}$, $F_{б}$ – відповідно сили тертя по стрічці та бункеру.

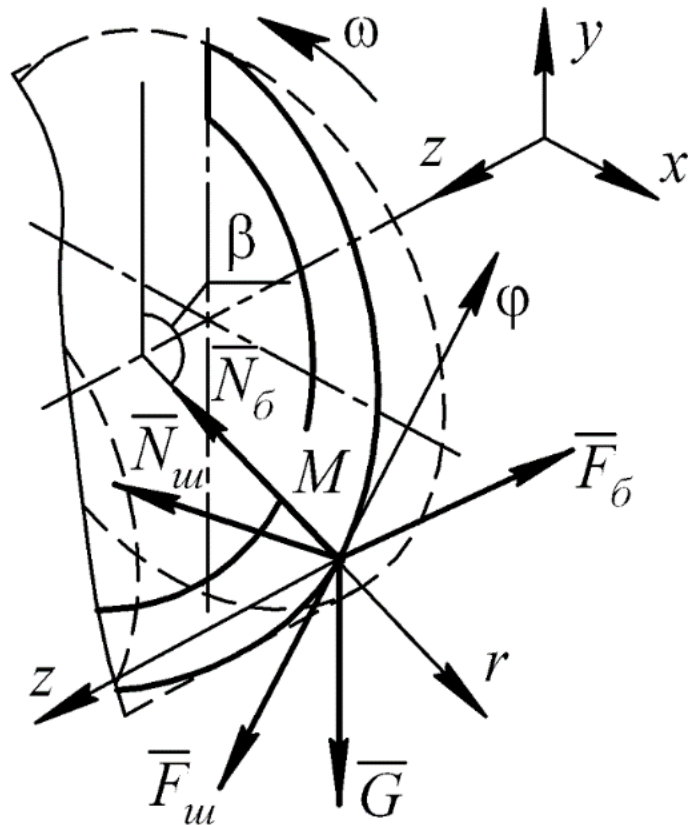


Рисунок 2.8 – Схема сил, що діють на частку суміші M за умови $r = R_2$

Після проектування сил на полярні осі r , φ , z , отримаємо загальні диференціальні рівняння руху дискретної частки M за умови $r = R_2$:

$$\left\{ \begin{array}{l} m(-\omega^2 r - r(\dot{\varphi})^2) = mg \cos \varphi - N_b; \\ 0 = -mg \sin \varphi - k_f N_b \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{r^2(\dot{\varphi})^2 + (\dot{z})^2}} + N_u (\sin \delta - k_f \cos \delta); \\ m\dot{z} = -k_f N_b \frac{\dot{z}}{\sqrt{r^2(\dot{\varphi})^2 + (\dot{z})^2}} + N_u (\cos \delta + k_f \sin \delta). \end{array} \right. \quad (2.10)$$

У зв'язку з тим, що у другому випадку частка М рухається по постійному зовнішньому радіусу стрічкового гвинта R_2 , то невідомими в системі диференціальних рівнянь будуть функції руху частки М: $\varphi = \varphi(t)$, $z = z(t)$ та реакції стрічки $N_{ш} = N_{ш}(t)$ і бункера $N_{б} = N_{б}(t)$, котрі будуть змінюватися з часом внаслідок руху частки по стрічці та вздовж бункера. Розв'язок системи (2.10) у загальному вигляді знайдений чисельним методом за допомогою ПЕОМ (рис. 2.9).

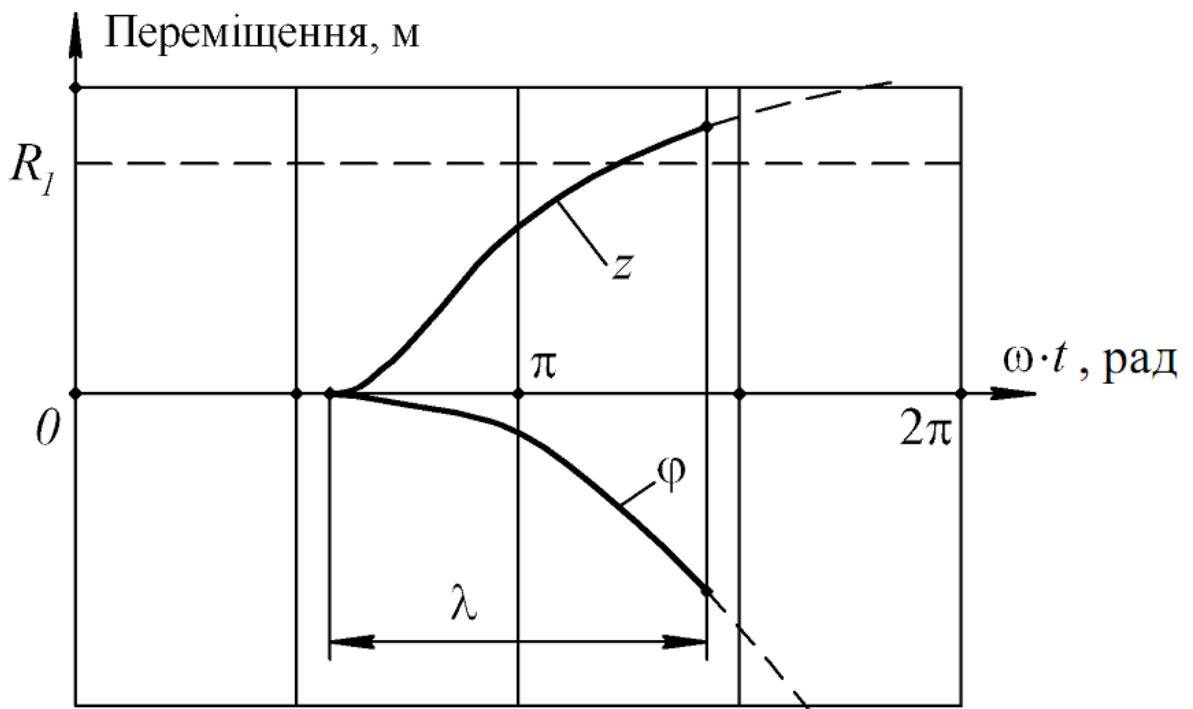


Рисунок 2.9 – Графічний розв'язок системи диференціальних рівнянь (2.10)

Як уже зазначалося вище, система диференціальних рівнянь (2.10) описує рух часток суміші, які знаходяться на ділянці, обмеженій кутом (див. рисунок 3.1), і контактують як із стрічкою, так і з дном бункера. Тому фізичний зміст має розв'язок, обмежений ділянкою λ (див. рис. 2.9). При цьому ми бачимо, що графіки руху частки М мають точки перегину дещо правіше від середини ділянки λ : величина переміщення по осі z , яка зростала досить швидко (на вертикальній осі залишена позначка R_1 для порівняння із розв'язком попередньої системи диференціальних рівнянь) після точки перегину зростає повільніше; із переміщенням по осі φ .

Такий характер графіків можна пояснити наступним чином: спочатку, на першій половині ділянки λ , частки суміші інтенсивно переміщуються вздовж осі z . Після цього, внаслідок впливу сил ваги суміші, відбувається активне проковзування часток по стрічці, що призводить до зменшення величини переміщення вздовж осі z , та збільшення від'ємних значень переміщення по модулю відносно вісі обертання ϕ .

Для забезпечення необхідного переміщення суміші у змішувачі виникає необхідність визначити середню швидкість $v_{Z_{\text{сер}}} = \dot{z}$, м/с, переміщення суміші вздовж осі гвинта внаслідок обертання стрічки змішувача. Аналіз систем (2.9), (2.10) за допомогою математичного пакету Maple дозволяє наближено визначити середню швидкість часток вздовж осі z :

$$v_{Z_{\text{сер}}} = \dot{z} = \frac{1}{2} \omega^2 (R_1 + R_2) \sin \delta (\cos \delta - k_f \sin \delta). \quad (2.11)$$

Представивши останній вираз у вигляді графіка (рис. 2.10), можна відзначити, що кутова швидкість стрічки значно впливає на величину середньої швидкості $v_{Z_{\text{сер}}}$. Збільшення кутової швидкості з 1,0 до 4,0 рад/с призводить до збільшення середньої швидкості осевого переміщення від 0,106 до 0,424 м/с.

Важливо відзначити, що ці значення швидкості відносяться до об'єму суміші, яка активно переміщується стрічкою гвинта, тобто знаходиться в межах радіальної координати від R_1 до R_2 .

Нехай H – висота сегменту. Тоді

$$S = \frac{R_2^2}{2} \left\{ 2 \arccos \left[\frac{R_2 - H}{R_2} \right] - \sin \left(2 \arccos \left[\frac{R_2 - H}{R_2} \right] \right) \right\} \quad (2.12)$$

а середня величина переміщення суміші (м³/год) уздовж осі z становитиме

$$Q_Z = 3600 v_{Z_{\text{сер}}} S. \quad (2.13)$$

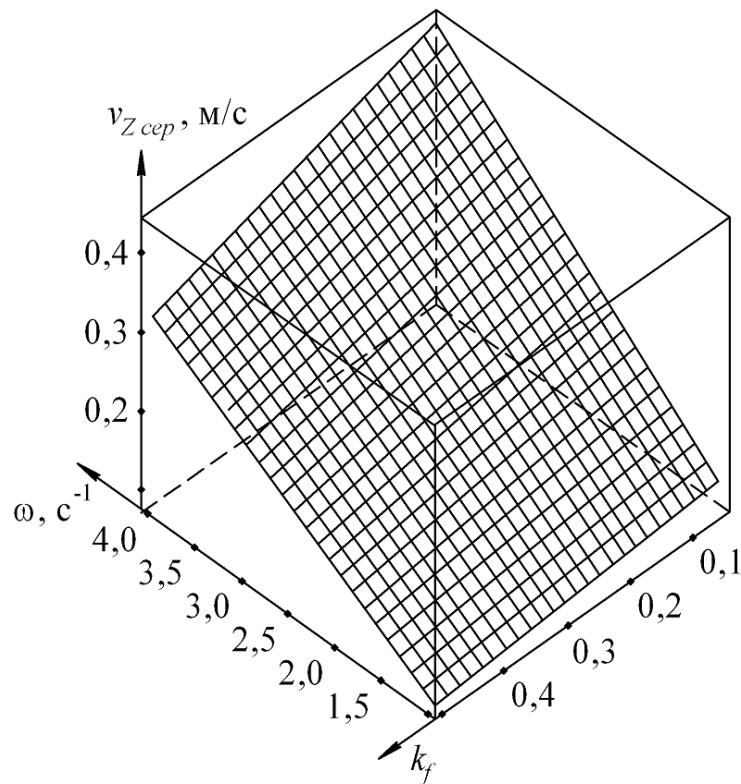


Рисунок 2.10 – Теоретична залежність осьової швидкості суміші від коефіцієнта тертя k_f та кутової швидкості обертання стрічки ω

2.3 Теоретичне дослідження енергетичних показників процесу

Із одержаних вище формул можна побачити, що опір просуванню робочого органа змішувача у суміші та, відповідно, потужність перемішування залежать від ряду факторів: фізико-механічних властивостей суміші, які характеризуються її густиною ρ , коефіцієнтом питомого опору зсуванню k_τ та коефіцієнтом тертя k_f ; від кута нахилу стрічки δ ; кутової швидкості робочого органа ω ; розмірів змішувача (кількість витків гвинтової стрічки z_1 , зовнішній та внутрішній радіуси гвинтової стрічки R_1 та R_2). Також зрозумілим є те, що під час роботи ступінь заповнення бункера може бути різною, тобто у якості ще одного фактора, який впливає на величину потужності, нам слід розглянути ступінь заповнення бункера сумішшю.

Кут нахилу стрічки δ до площини обертання (а відповідно і крок гвинта h) є одним із факторів, які впливають на величину потужності, котра витрачається на перемішування.

Розглянемо випадок перемішування, коли змінним параметром є лише кут нахилу стрічки δ . Якщо проаналізувати попередні формули, то за умови постійності всіх інших параметрів її можна записати у вигляді

$$P = A_2 \sin(2\delta) \sin \delta + B_2 \sin(2\delta) + C_2 \sin \delta + D_2, \quad (2.13)$$

де A_2, B_2, C_2, D_2 – постійні коефіцієнти для даних умов змішування.

Одержана функціональна залежність показує, що зі збільшенням δ потужність зростає за деякою плавною кривою, котра має максимум. Теоретичний графік потужності, котра необхідна для обертання стрічки у змішувачі довжиною 1,0 м залежно від змінного кута δ для сумішей з різним коефіцієнтом тертя максимум (рис. 2.11), розміри стрічки прийняті рівними: $R_1 = 0,35$ м, $R_2 = 0,4$ м.

Такий вигляд кривих можна пояснити тим, що хоча при малих значеннях δ загальна довжина стрічки досить велика (за умови вищезазначених радіусів та $\delta = 10^\circ$ змішувач довжиною 1,0 м має 3,5 витка стрічки), головною складовою потужності буде та, що витрачається на тертя суміші по стрічці. При збільшенні кута δ до 45° за умови тих же радіусів змішувач довжиною 1,0 м матиме лише 0,55 витка стрічки гвинта. У цьому випадку вплив як сил тертя, так і зсування набуває максимуму. Далі при збільшенні кута δ до 80° вплив сил тертя суміші по стрічці зменшується і головну роль у величині потужності, яка витрачається на змішування, відіграють сили опору зсування суміші.

Залежно від значення коефіцієнта тертя k_f суміші по стрічці, який для сумішей різного складу може коливатися у широких межах (від 0,2 до 0,4), значення кута δ , при якому потужність буде максимальною, буде знаходитись у межах $65 \dots 45^\circ$. Зрозуміло, що з точки зору зниження енергоємності процесу перемішування величина кута δ повинна бути найменшою.

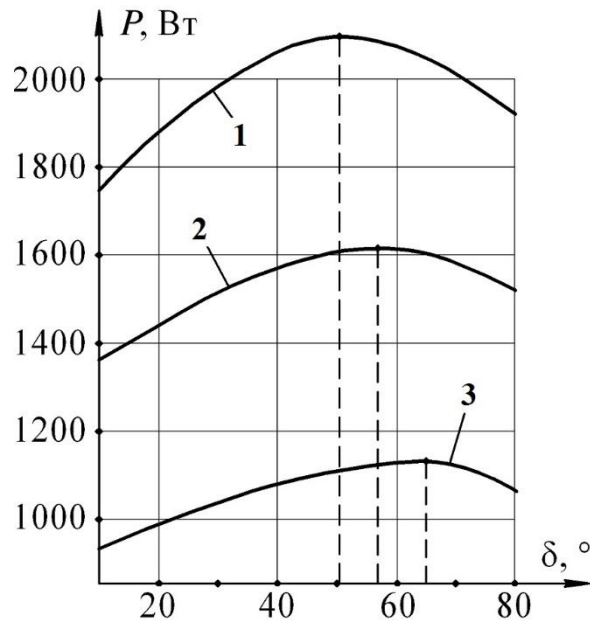


Рисунок 2.11 – Теоретична залежність потужності, що споживається змішувачем довжиною 1,0 м від кута нахилу стрічки δ для сумішей з різним коефіцієнтом тертя: 1 – 0,4; 2 – 0,3; 3 – 0,2

Кутова швидкість ω обертання стрічкового вала змішувача суттєво впливає на величину потужності перемішування. Для одного й того ж випадку, коли змінним параметром є лише кутова швидкість ω , а всі інші параметри постійні, залежність потужності, яка витрачається на обертання одного витка гвинтової стрічки, від кутової швидкості ω може бути записана у вигляді

$$P = \omega(A_3\omega^2 + B_3) + C_3, \quad (2.14)$$

де A_3 , B_3 , C_3 – постійні коефіцієнти для даних умов змішування.

Ми бачимо, що із збільшення кутової швидкості обертання стрічки потужність збільшується за законом увігнутої кривої (рис. 2.12), проте кривизна лінії потужності незначна. Зрозуміло, що кутова швидкість стрічки з точки зору інтенсифікації процесу перемішування повинна бути найбільшою, так як із збі-

льшенням кутової швидкості збільшується число перелопачувань стрічкою матеріалу в змішувачі за одиницю часу, а відповідно, прискорюється процес перемішування, підвищується продуктивність приготування суміші.

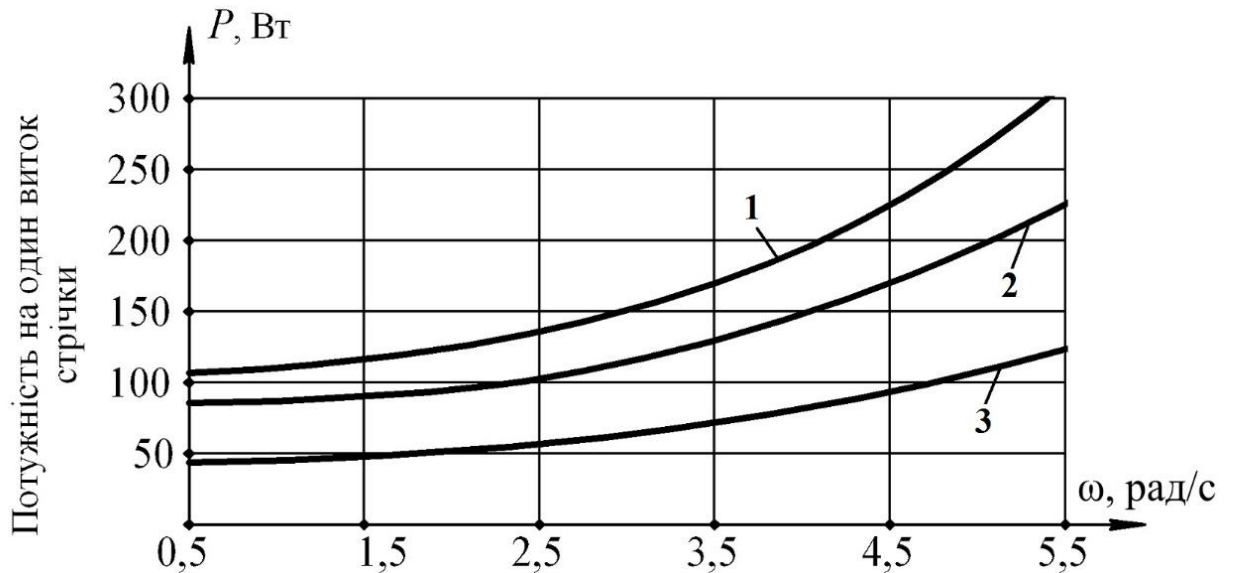


Рисунок 2.12 – Теоретична залежність споживаної потужності від кутової швидкості гвинта для сумішей з різним коефіцієнтом тертя: 1 – 0,4; 2 – 0,3; 3 – 0,2

Проте за великих значень кутової швидкості та завантаженні бункера нижче верхньої межі стрічки у момент виходу її з суміші окремі частки суміші відцентровою силою інерції можуть викидатися із зони кола, яке описується стрічкою. Внаслідок різної маси цих часток вони відкидаються на різну відстань – може відбуватися розшарування суміші, від чого якість перемішування знижується.

2.4 Висновки до розділу

В цьому розділі отримане наступне:

- теоретично в заданому об'ємі корму рівномірність змішування компонентів буде максимальною при зовнішньому діаметрі гвинта (0,76...0,84 м) та

її ширині – 0,05 м;

- швидкість обертання гвинта буде впливати на швидкість переміщення маси корму, а отже, і на швидкість змішування. Так її зростання від 1,0 до 4,0 рад/с збільшує середню швидкість осьового переміщення від 0,106 до 0,424 м/с;

- кут нахилу гвинтової стрічки за умови найменшого опору при її обертанні повинен бути в межах 50...80°.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Фактори, що обумовлені технологічними якістьми зерна, мають значний вплив на виробництво якісних комбікормів, але у комбікормовому виробництві використовують зернові матеріали, які мають кондиційну якість.

Для досягнення високої технологічної ефективності змішування сипучих компонентів, необхідно встановити режим процесу змішування з урахуванням властивостей партії зерна. Основним кінематичним показником процесу змішування, що впливає на якість готового продукту, є частота обертання гвинта змішувача. Суттєвий вплив на вихідний продукт мають і конструктивні параметри технологічного процесу, а саме кут нахилу гвинтової стрічки та її довжина. Крім того, треба враховувати і технологічні параметри: час змішування, відсоток введення компонента з мінімальним вмістом у суміші, повнота заповнення бункера.

У відповідності до поставлених задач (розділ 1) у якості об'єкту дослідження прийнято технологічний процес змішування сипких компонентів комбікормів та сукупність технологічних. Акцент зроблено на визначенні оптимальної продуктивності, енергоємності та якості змішування сипучих компонентів комбікормів.

Якість змішування комбікормів – критерій, значення і характер зміни якого можливо визначити лише експериментальним шляхом.

Програма експериментів технологічного процесу змішування комбікормів:

- оптимізація технологічних параметрів процесу змішування на якість готового продукту;
- оптимізація технологічних параметрів процесу змішування на продуктивність та енергоємність.

Метою досліджень:

- розробка удосконаленої технологічної схеми стрічково-гвинтового змішувача компонентів комбикормів;
- розробка методології дослідження процесу змішування сипучих компонентів та визначення основних конструктивних і технологічних параметрів змішувача;
- визначення вмісту контрольного компонента суміші, її коефіцієнта неоднорідності та провести статистичну обробку експериментів з побудовою регресійних залежностей;
- проведення порівняльного аналізу теоретичних та експериментальних результатів.

3.2 Об'єкти експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження було проведено з метою оцінки якості змішування сипучих компонентів комбикормів, визначення технологічних та конструктивних параметрів процесу змішування устрічково-гвинтовому змішувачі, а також з метою перевірки виконаних нами теоретичних досліджень (рис. 3.1).

3.3 Методика проведення експерименту

Критерії оптимізації - питома енергоємність q , Вт·год/кг та однорідність суміші μ , %.

$$q = \frac{N}{Q}, \quad (3.1)$$

де N – потужність на привод змішувача, Вт;

Q - продуктивність змішувача, кг/год.

Продуктивність змішувача Q визначали виходячи з часу, затраченого на приготування однієї наважки, яка складала 2,750 кг.

$$Q = \frac{M}{t}, \quad (3.2)$$

де M – вага отриманого продукту, кг;

t - час продуктивної роботи змішувача, год.

Потужність приводу визначали виходячи з сили струму I та напруги U , яка подавалась на двигун:

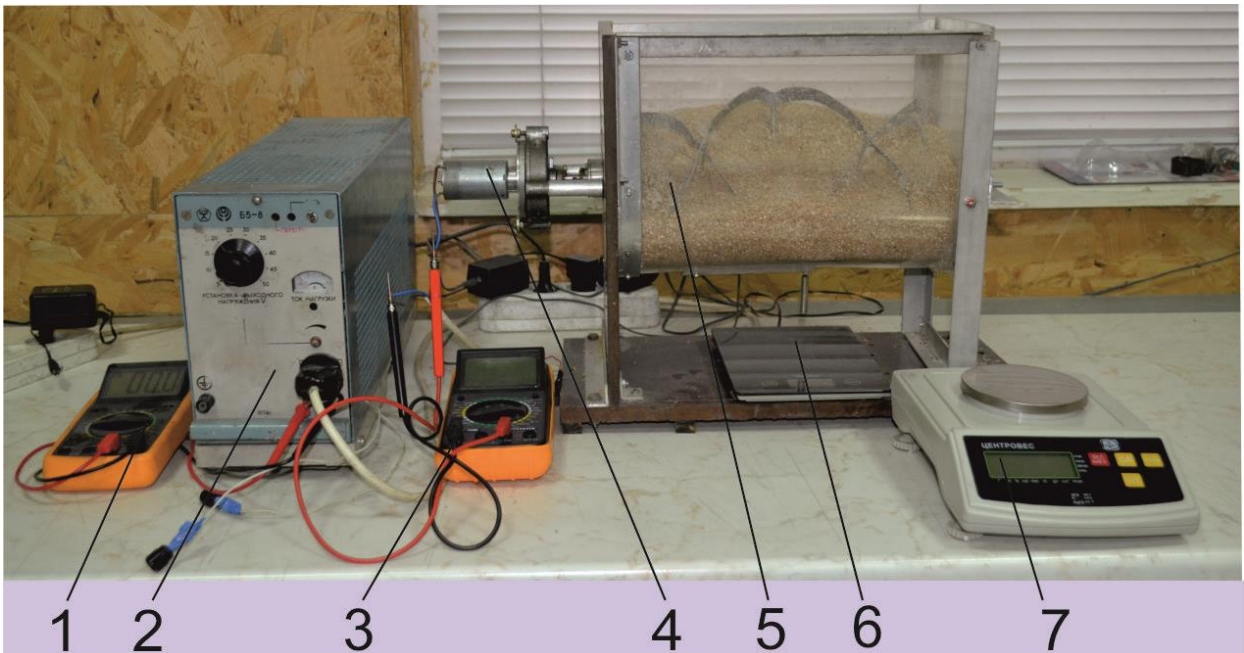


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд експериментальної установки: 1 - цифровий мультиметр DT 9208A (контроль напруги приводу); 2 – регульований блок живлення Б5-8; 3 - цифровий мультиметр DT 9208A (контроль сили струму приводу); 4 – привод на основі електродвигуна постійного струму; 5 - електронні ваги; для контролю наважки при відборі проби; 6 – аналітичні ваги для зважування найменшого компонента проби

$$N = 0,9 \cdot I \cdot U, \quad (3.3)$$

де I – сила струму на приводі змішувача А;

U - напруга приводу, В.

Значення однорідності змішування μ розраховували наступним чином

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_1^n \frac{B_i}{B_o} \quad \text{при } B_i < B_o, \quad (3.4)$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_1^n \frac{2B_o - B_i}{B_o} \quad \text{при } B_i > B_o, \quad (3.5)$$

де n – число проб;

B_i – фактичний вміст меншого компонента суміші в i - й пробі, кг;

B_o – заданий вміст меншого компонента, кг.

Заданий вміст меншого компонента B_o складав 5, 10 та 15 %. Фактичний вміст меншого компонента суміші в i - й пробі визначали наступним чином:

$$B_i = \frac{m_i}{m_{np}} \cdot 100, \quad (3.6)$$

де m_i – маса меншого компонента в пробі, кг;

m_{np} – маса проби, кг.

Маса однієї проби складала 2 % від загального завантаження змішувача, тобто $0,55 \pm 10$ % кг. Для ідентифікації меншого компонента в пробі до змішувача завантажували пофарбоване у різні кольори зерно пшона (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Зразки меншого компонента для введення до суміші

Обробка результатів досліджень, «проведених методом математичного факторного планування експериментів, виконувались за допомогою комп'ютерної програми «Statistica v. 6.12». Математична модель визначається по одному критерію оптимізації. Коефіцієнти регресії математичних моделей обчислюється за формулами для D-оптимальних планів дослідів. По знайденим коефіцієнтам для кожного критерію складаються рівняння регресії у кодованому вигляді».

Таблиця 3.1 – Матриця плану експерименту та рівні варіювання факторів

Рівні факторів, матриця дослідів	Фактори		
	x_1	x_2	x_3
Верхній рівень (+)	55	5	15
Основний рівень (0)	45	3	10
Нижній рівень (-)	35	1	5
Інтервал варіювання факторів	10	2	5

3.4 Аналіз результатів досліджень якості процесу змішування

За результатами досліджень було отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на однорідність змішування. Отримана математична модель мала вигляд:

$$y_1 = 96,2 + 0,66x_1 + 0,5x_1^2 + 1,66x_2 + x_2^2 + 0,167x_3 + 1,2x_3^2 - 0,51x_1x_2 - 0,52x_1x_3 + 2,12x_2x_3 \quad (3.7)$$

За розрахованими значеннями критерію Стьюдента значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% є коефіцієнти при членах рівняння: x_1 , x_2 , x_3 , x_1^2 , x_2^2 , x_3^2 , x_1x_2 .

На основі цього рівняння регресії (3.1) прийме вигляд:

$$y_1 = 96,2 + 0,66x_1 + 0,5x_1^2 + 1,66x_2 + x_2^2 + 0,167x_3 + 1,2x_3^2 - 0,51x_1x_2 \quad (3.8)$$

У розкодованому вигляді модель (3.2) має вигляд:

$$\mu = 64,04 + 1,04n - 0,01n^2 + 4,96t - 0,5t^2 + 0,033g - 0,021g^2 - 0,25nt, \quad (3.9)$$

- де μ – однорідність змішування, %;
 n – частота обертання валу мішалки, хв^{-1} ;
 t – час змішування, хв. ;
 g – вміст мінімального компоненту, %.

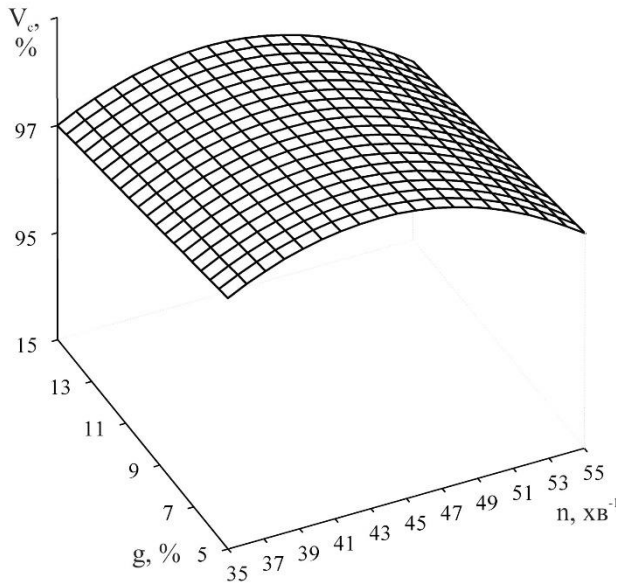
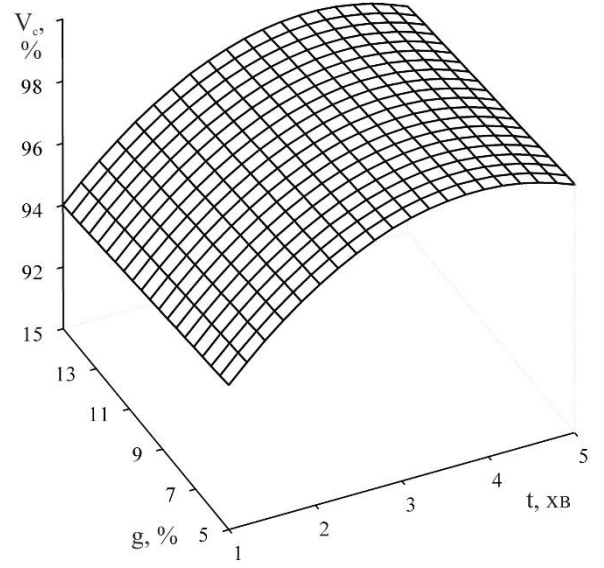
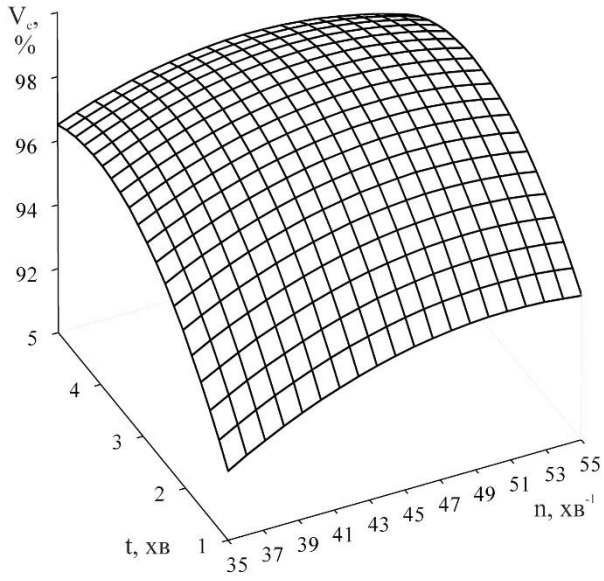


Рисунок 3.3 – Поверхні відгуку залежності однорідності змішування

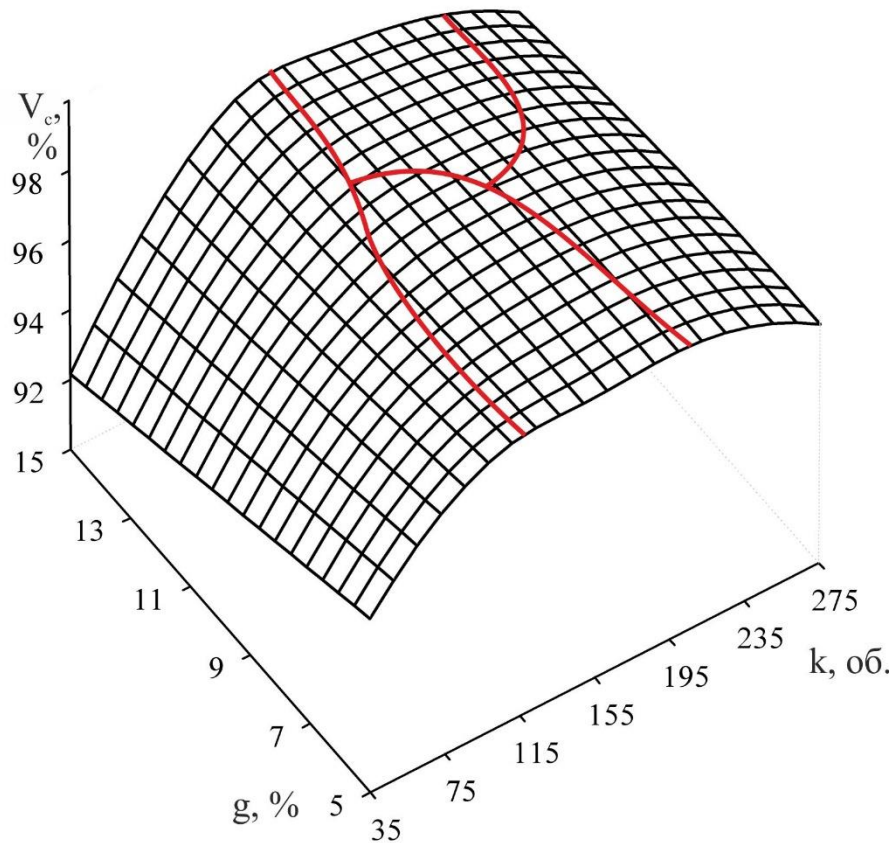


Рисунок 3.4 – Залежність однорідності змішування від режимного показника при різному вмісті мінімального компонента

3.5 Аналіз результатів досліджень енергоспоживності процесу

Факторами експерименту було обрано частоту обертання (x_1), досліджуваний критерій – потужність на привід (y_2).

За результатами досліджень було отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на потужність на привід змішувача. Отримана математична модель мала вигляд:

$$N = 2,1455n^2 - 156,75n + 3551,7 \quad (3.10)$$

Графічну інтерпретацію моделі за (3.10) представлено на рис. 3.5.

Як свідчать дані, приведені на рис. 3.5, значення потужності на привід змішувача, отримані в результаті експерименту, мають той же характер, що отримані теоретично. Відмінність варіюється в межах 28...35 %, коефіцієнт кореляції – 97 %. Таким чином, отримані теоретично залежності можна використовувати для розрахунків аналогічних машин, увівши до формули поправочний коефіцієнт – 1,32. Звичайно, за даними рис. 3.5 мінімальна потужність буде при мінімальній частоті обертання, але нам треба також враховувати, що зі зменшенням частоти обертання буде збільшуватись час змішування, що обумовлено якісними показниками процесу. Тому нами побудовано залежності витрат енергії на цикл змішування з урахуванням даних, приведених на рис. 3.3.

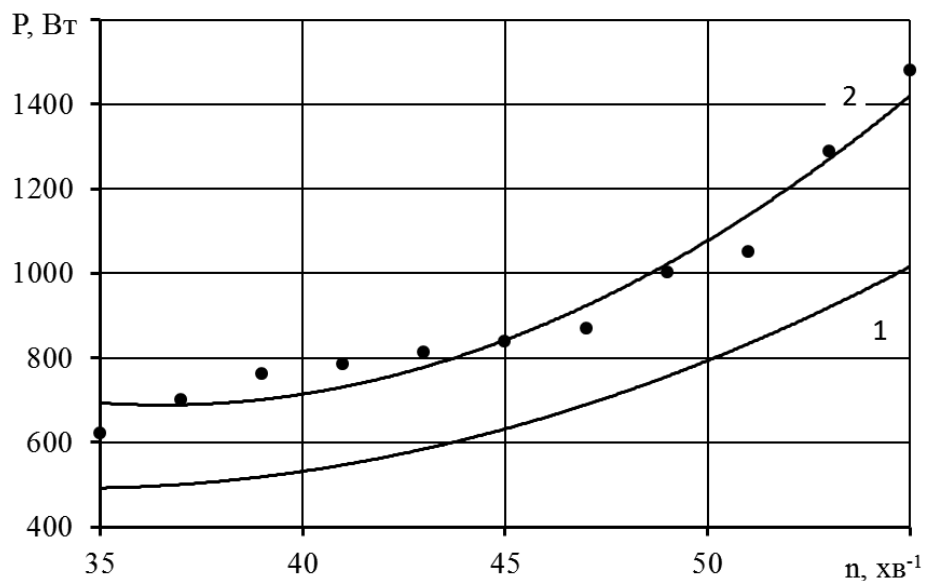


Рисунок 3.5 – Потужність на привід змішувача при різній частоті обертання: 1 – теоретичні дані; 2 – експериментальні дані

Тобто було враховано значення показника k , при якому досягається максимум однорідності, в результаті чого було отримано формулу:

$$N = \frac{k_{\min}^{\max}}{1000n_{\min}} \cdot N = \frac{k_{\min}^{\max}}{1000n_{\min}} \cdot (2,1455n^2 - 156,75n + 3551,7), \quad (3.11)$$

де n – поточна частота обертання, хв^{-1} ;

n_{\min} - мінімальна частота обертання згідно експерименту, хв^{-1} .

Графічну інтерпретацію рівняння за (3.6) представлено на рис. 3.6.

З представленої залежності чітко видно, що витрати енергії на процес мають нелінійний характер, при цьому оптимум (найменше значення) знаходиться в точці, яка відповідає значенню частоти обертання $40,5 \text{ хв}^{-1}$, а не в мінімумі n . Це пояснюється тим, що зі зменшенням частоти обертання збільшується час змішування і приріст витрат енергії не компенсує цього зменшення.

По проходженні точки мінімуму спостерігаємо суттєвий ріст питомої енергоємності. В цілому при мінімумі k витрати енергії на процес складають $2,25 \text{ кВт/цикл}$ а при максимумі – $3,66 \text{ кВт/цикл}$.

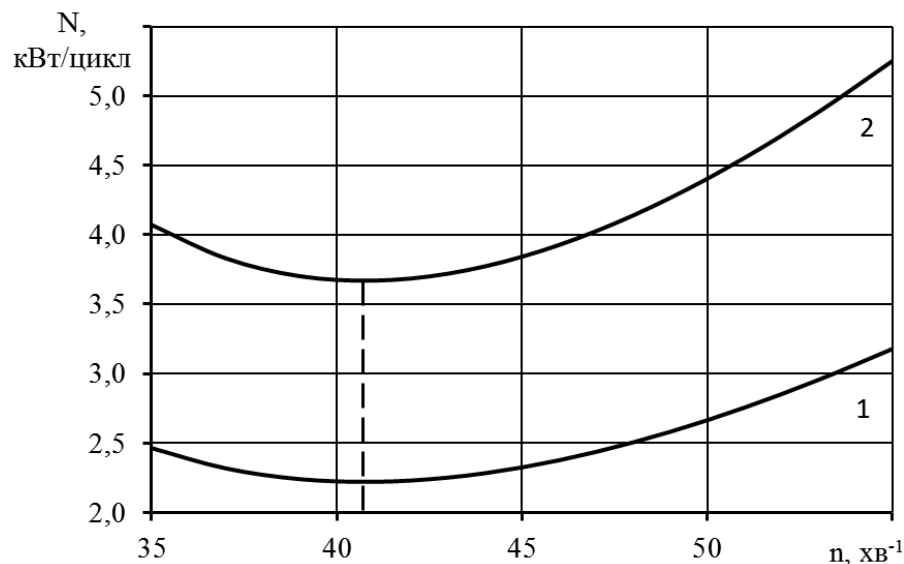


Рисунок 3.6 – Залежність питомої енергоємності від частоти обертання робочого органу змішувача: 1 – мінімальна інтенсивність – $k=\min$;
2 – мінімальна інтенсивність – $k=\max$

На наступному етапі вважаємо за доцільне для визначеної частоти обертання привести визначити значення часу змішування. Користуючись математичною моделлю однорідності суміші (3.9) та враховуючи, що оптимальна частота обертання з точки зору енергетичних витрат буде рівна $40,5 \text{ хв}^{-1}$, побудуємо залежність, за допомогою якої можна визначати час змішування для різних варіацій вмісту найменшого компоненту (3.11).

Як видно з рис. 3.7, залежність часу змішування від вмісту мінімального компоненту нелінійна. Це можна пояснити тим, що крім типових процесів (конвекція, дифузія, сегрегація) протікають і інші. Наприклад зі збільшенням вмісту g від 8 до 11 % час змішування збільшується більш стрімко, ніж на інших ділянках.

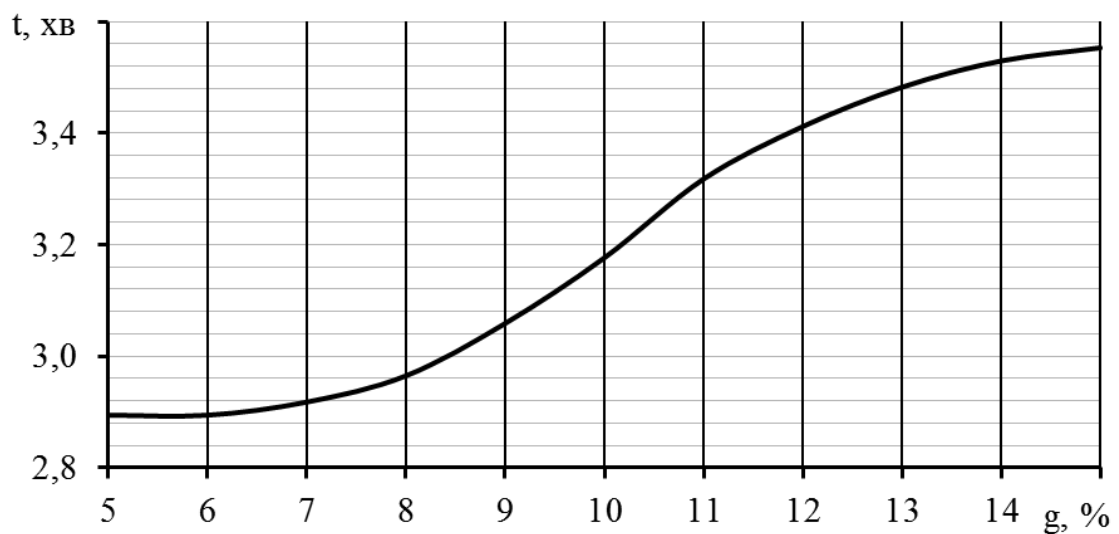


Рисунок 3.7 – Діаграма для вибору часу змішування при різному вмісті мінімального компоненту

Це можна пояснити тим, що в зазначеному діапазоні g конвекційне змішування протікає повільніше а дифузійне ще не впливає так інтенсивно. З подальшим збільшенням g швидкість зазначених процесів вирівнюється тому час змінюється не так суттєво.

3.6 Оптимізація конструкційно-технологічних параметрів змішувача

Використовуючи отримані під час теоретичних та експериментальних досліджень результати проведемо визначення основних конструкційно технологічних параметрів стрічково-гвинтового змішувача сипких кормів.

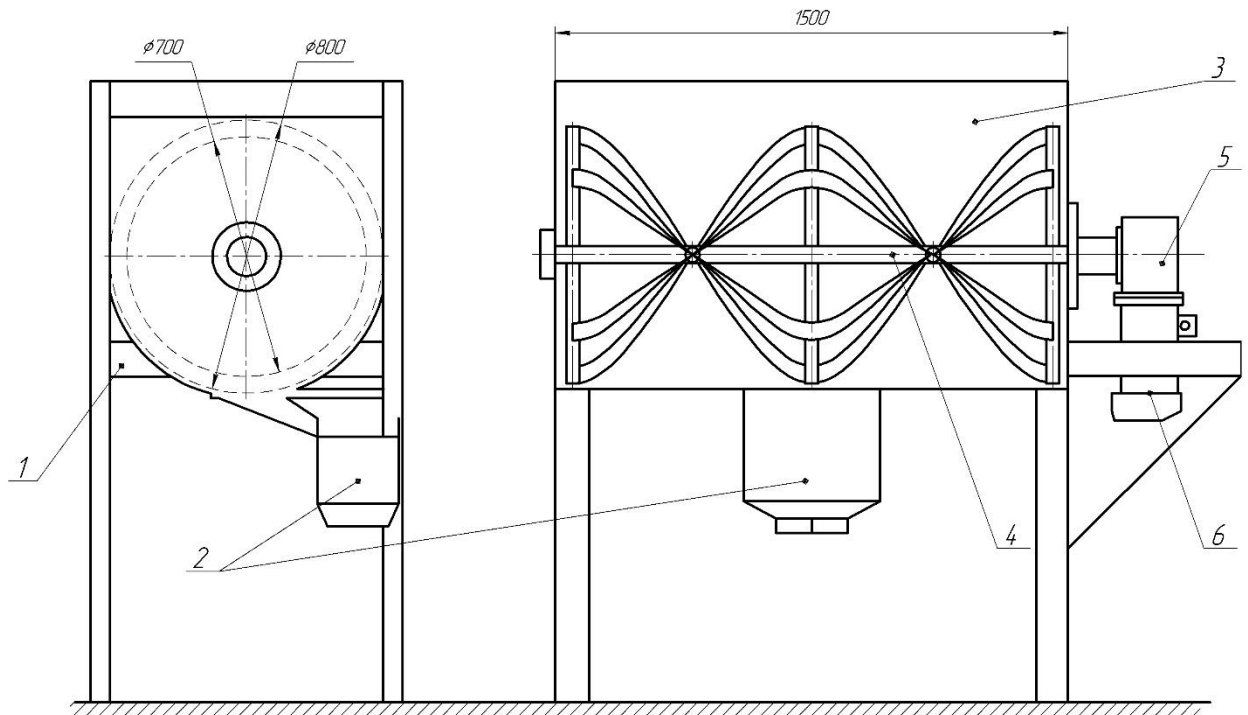


Рисунок 3.8 - Компонувальна схема розробленого змішувача:

1 – рама; 2 – розвантажувальна горловина; 3 – бункер; 4 – мішалка;

5 – редуктор; 6 –електродвигун

З аналізу потреби в таких машинах визначено, що необхідний об'єм бункера змішувача повинен бути в межах $0,4 \dots 0,45 \text{ м}^3$. Теоретично встановлено, що в заданому об'ємі корму рівномірність змішування компонентів буде максимальною при зовнішньому діаметрі гвинта ($0,76 \dots 0,84 \text{ м}$) та її ширині – $0,05 \text{ м}$. При цьому кут нахилу стрічки за умови найменшого опору при її обертанні

повинен бути в межах $50...80^\circ$. Інтерпретуючи ці дані за умови одного повного витка гвинта отримаємо довжину бункера – 1,5 м.

З експериментальних досліджень макетного зразка, виконаного у масштабі 1:4, встановлено, що частота обертання валу мішалки змішувача повинна складати $40...41 \text{ хв}^{-1}$. При цьому час змішування буде різний для різного вмісту найменшого компонента і знаходиться в межах $2,9...3,56 \text{ хв}$.

Компонувальну схему розробленого змішувача приведено на рис. 3.8, а його технічну характеристику в табл. 3.1.

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика розробленого змішувача

№	Показник	Значення
1.	Об'єм бункера, м^3	0,4
2.	Місткість бункера, т	0,24
3.	Однорідність змішування, %	до 98
4.	Мінімальне введення компонента, %	5
5.	Час змішування, хв.	$2,9...3,7$
6.	Час розвантаження, хв.	1
7.	Продуктивність, т/год.	1,5
8.	Частота обертання валу змішувача, хв^{-1}	$41...42$
9.	Споживана потужність, кВт	2,2
10.	Вага, кг	385
11.	Обслуговуючий персонал, люд.	1
12.	Строк служби, років	10

Таким чином переваги розробленого змішувача перед серійними аналогами:

- покращення якості процесу змішування, тобто підвищення однорідності суміші;
- зниження питомої енергоємності процесу змішування;
- зниження трудомісткості ТО.

3.7 Висновки до розділу

1. Однорідність суміші набуває максимуму 97,8 % при $n=48 \text{ хв}^{-1}$ та $t=3,2 \text{ хв.}$;
2. Значення потужності на привід змішувача, отримані в результаті експерименту, мають той же характер, що отримані теоретично. Відмінність варіюється в межах 28...35 %, коефіцієнт кореляції – 97 %;
3. Витрати енергії на процес мають нелінійний характер, при цьому оптимум (найменше значення) знаходиться в точці, яка відповідає значенню частоти обертання $40,5 \text{ хв}^{-1}$, а не в мінімумі n . При мінімумі k витрати енергії на процес складають 2,25 квт/цикл а при максимумі – 3,66 квт/цикл;
4. Час змішування буде різний для різного вмісту найменшого компоненту і знаходиться в межах 2,9...3,56 хв.;
5. На основі отриманих даних встановлено раціональні параметри розроблюваного змішувача.

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги

Загальні вимоги охорони праці при змішуванні комбікормів в Україні визначаються Законом України "Про охорону праці" та іншими нормативно-правовими актами, зокрема:

Правилами охорони праці під час експлуатації машин, обладнання та інструментів (НПАОП 0.00-1.21-01);

Правилами охорони праці при експлуатації електроустановок (НПАОП 40.01-1.21-98);

Правилами пожежної безпеки для підприємств, установ та організацій (ДНАОП 0.03-40-01);

Санітарними нормами та правилами для підприємств, установ та організацій, які виробляють, зберігають і реалізують комбікорми (ДСанПіН 2.3.4.009-97).

На основі цих нормативно-правових актів можна сформулювати такі загальні вимоги охорони праці при змішуванні комбікормів:

Підприємства, які здійснюють змішування комбікормів, повинні бути оснащені відповідними засобами виробництва, які відповідають вимогам охорони праці. Зокрема, змішувачі кормів повинні бути:

- обладнані блокувальними пристроями, які запобігають їх пуску при відкритих дверях, люках та інших отворах;
- обладнані пристроями для автоматичного відключення електроживлення при аварії;
- обладнані пристроями для захисту працівників від впливу шкідливих і небезпечних факторів, зокрема від шуму, пилу, вібрацій тощо.

Робочі місця працівників, зайнятих змішуванням комбікормів, повинні бути обладнані в суворій відповідності з вимогами охорони праці. Зокрема, робочі місця повинні бути забезпечені:

- необхідним освітленням;
- зручними робочими місцями;
- засобами індивідуального захисту.

Робітники, зайняті змішуванням комбікормів, повинні проходити навчання та перевірку знань з охорони праці відповідно до вимог нормативно-правових актів.

На підприємствах, які здійснюють змішування комбікормів, повинен бути розроблений і затверджений інструктаж з охорони праці для працівників, зайнятих цим видом робіт.

Конкретні вимоги охорони праці при змішуванні комбікормів, з урахуванням конкретних умов технологічного процесу, повинні бути визначені в інструкціях з охорони праці для працівників, зайнятих цим видом робіт.

Ось деякі додаткові вимоги охорони праці, які можуть бути включені до інструкцій з охорони праці для працівників, зайнятих змішуванням комбікормів:

Перед початком роботи працівники повинні провести зовнішній огляд змішувача кормів і переконатися в його технічній справності. Під час роботи працівники повинні дотримуватися правил безпеки праці, зокрема:

- не допускати до роботи працівників, які не пройшли навчання та перевірку знань з охорони праці;
- не допускати до роботи працівників, які перебувають у стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння;
- не працювати з вимкненим освітленням;
- не відкривати двері, люки та інші отвори у змішувачі кормів під час його роботи;
- не засмічувати робоче місце;
- дотримуватися правил особистої гігієни.

У разі виникнення аварійної ситуації працівники повинні негайно припинити роботу і повідомити про це керівника робіт. Виконання цих вимог допоможе запобігти нещасним випадкам і професійним захворюванням працівників, зайнятих змішуванням комбікормів.

4.2 Проект інструкції з охорони праці при роботі зі змішувачем комбікормів

1. Загальні вимоги

Підприємства, які здійснюють змішування комбікормів, повинні бути оснащені відповідними засобами виробництва, які відповідають вимогам охорони праці. Зокрема, змішувачі кормів повинні бути:

- обладнані блокувальними пристроями, які запобігають їх пуску при відкритих дверях, люках та інших отворах;
- обладнані пристроями для автоматичного відключення електроживлення при аварії;
- обладнані пристроями для захисту працівників від впливу шкідливих і небезпечних факторів, зокрема від шуму, пилу, вібрацій тощо.

Робочі місця працівників, зайнятих змішуванням комбікормів, повинні бути обладнані в суворій відповідності з вимогами охорони праці. Зокрема, робочі місця повинні бути забезпечені:

- необхідним освітленням;
- зручними робочими місцями;
- засобами індивідуального захисту.

Робники, зайняті змішуванням комбікормів, повинні проходити навчання та перевірку знань з охорони праці відповідно до вимог нормативно-правових актів.

На підприємствах, які здійснюють змішування комбікормів, повинен бути

розроблений і затверджений інструктаж з охорони праці для працівників, зайнятих цим видом робіт.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи працівники повинні провести зовнішній огляд змішувача кормів і переконатися в його технічній справності. Зокрема, необхідно перевірити:

- наявність і справність блокувальних пристроїв;
- справність пристроїв для автоматичного відключення електроживлення;
- справність пристроїв для захисту працівників від впливу шкідливих і небезпечних факторів.

Працівники, які не пройшли навчання та перевірку знань з охорони праці, до роботи не допускаються.

Працівники, які перебувають у стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння, до роботи не допускаються.

3. Вимоги безпеки під час роботи

Під час роботи працівники повинні дотримуватися правил безпеки праці, зокрема:

- не працювати з вимкненим освітленням;
- не відкривати двері, люки та інші отвори у змішувачі кормів під час його роботи;
- не засмічувати робоче місце;
- дотримуватися правил особистої гігієни.

При роботі зі змішувачем кормів необхідно використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема:

- спецодяг;
- спецвзуття;
- окуляри захисні;
- рукавички гумові.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після закінчення роботи працівники повинні:

- зупинити змішувач кормів;
- відключити електроживлення;
- очистити робоче місце від сміття та залишків комбікормів;
- прибрати засоби індивідуального захисту.

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі виникнення аварійної ситуації працівники повинні негайно припинити роботу і повідомити про це керівника робіт.

Необхідно вжити заходів щодо ліквідації аварійної ситуації і попередження травмування працівників.

Додаткові вимоги безпеки

При роботі зі змішувачем кормів необхідно дотримуватися таких додаткових вимог безпеки:

- не допускати перевантаження змішувача кормів;
- не допускати потрапляння сторонніх предметів у змішувач кормів;
- у разі виявлення несправностей у змішувачі кормів негайно повідомити про це керівника робіт.

Виконання вимог цієї інструкції допоможе запобігти нещасним випадкам і професійним захворюванням працівників, зайнятих змішуванням комбікормів.

4.3 Розробка карти контролю показників безпеки змішувача кормів

Карта контролю показників безпеки змішувача сипких кормів приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Карта контролю показників безпеки змішувача сипких кормів

№	Найменування вузла машини	Контролюємий показник, нормативні вимоги безпеки	Метод оцінки прилади, обладнання	Періодичність*
1	Рама	Надійність болтових з'єднань та зварної конструкції	Випробування	<input type="checkbox"/>

2	Вивантажувальна горловина	Спрацювання кінцевого вимикача, який блокує пуск електродвигуна при відкритій засувці	Випробування	<input type="checkbox"/>
3	Бункер	Відсутність сторонніх предметів	Зовнішній огляд	<input type="checkbox"/>
4	Мішалка	Надійність фіксації ножів та крильчатки. Зажим підшипників.	Зовнішній огляд Випробування	Δ O
5	Редуктор	Наявність змащення. Відсутність люфтів на валах.	Зовнішній огляд Випробування	O <input type="checkbox"/>
6	Електрокабель	Опір ізоляції (не менше 0,5 МОм).	Вимірювання, мегометр	Δ
7	Електродвигун	Відсутність пилу та бруду. Надійність кріплень. Ступень нагріву корпусу. Надійність контактів з'єднання.	Зовнішній огляд Випробування	O <input type="checkbox"/>
8	Заземлення	Кріплення заземлювального проводу до болта заземлення. Опір повторного контура заземлення не більше 4 Ом.	Випробування ключ 17×19 Вимірювання, мегометр	<input type="checkbox"/> Δ

* O – щозмінний контроль; – щомісячний контроль; Δ – сезонний (річний) контроль.

4.4 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

У разі виникнення надзвичайної ситуації, зокрема пожежі, необхідно негайно вжити заходів щодо її ліквідації та евакуації людей.

Якщо ви побачили пожежу, негайно повідомте про це за номером 101.

Якщо пожежа виникла в приміщеннях, негайно евакууйтеся назовні.

Якщо ви не можете евакуюватися, зателефонуйте за номером 101 і повідомте про своє місцезнаходження.

Якщо ви перебуваєте в задимленому приміщенні, ляжте на підлогу і дишайте низько розташованим повітрям.

Якщо ви перебуваєте у закритому приміщенні, яке горить, закрийте двері і вікна, щоб запобігти поширенню пожежі.

Додаткові заходи безпеки при виникненні пожежі

Не намагайтеся самостійно гасити пожежу, якщо вона велика або якщо ви не маєте відповідних навичок і обладнання.

Не повертайтеся в палаюче приміщення за речами.

Якщо ви потрапили в димову завісу, закрийте рот і ніс хусткою або одягом і рухайтесь до виходу.

Якщо ви задимилися, лягайте на землю і рухайтесь повззом.

Після ліквідації пожежі

Не повертайтеся в палаюче приміщення до повного його охолодження.

Якщо в приміщенні є постраждалі, надайте їм першу допомогу.

Повідомте про пожежу в поліцію та пожежну службу.

Запам'ятайте, що дотримання цих правил допоможе вам зберегти життя і здоров'я у разі виникнення надзвичайної ситуації.

4.5 Висновки до розділу

Згідно з вимогами охорони праці, нами було проведено обстеження розробленого змішувача сипких кормів. Було встановлено, що під час його експлуатації оператор може піддаватися впливу небезпечних і шкідливих факторів. Для їх уникнення було запропоновано відповідні заходи. Також було складено карту контролю показників безпеки.

За результатами обстеження можна зробити висновок, що змішувач сипких кормів, розроблений відповідно до нормативних вимог охорони праці, є безпечним для експлуатації.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

В даному розділі ми будемо оцінювати економічну ефективність використання розробленого змішувача сипких кормів, який входить до складу установки МКУ-1,2. Для порівняння економічних показників розробленого та зазначеного змішувачів ми будемо враховувати експлуатаційні витрати, проводячи розрахунки для однакових робочих умов. Оцінку будемо проводити по експлуатаційним витратам, використовуючи методику, приведену в [10].

«Витрати на заробітну плату

$$З = n \cdot t \cdot f \cdot \delta \cdot D, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.;

f – годинна тарифна ставка одного працівника, грн/год.;

t – тривалість роботи машини на добу, год.;

D – кількість робочих днів на рік;

δ – коефіцієнт нарахування на заробітну плату.»

«Добовий час роботи машини визначається виходячи з добової потреби в комбікормах.

$$t = \frac{G_{\text{доб}}}{Q_3} = \frac{n \cdot g}{Q_3}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де $G_{\text{доб}}$ – добова потреба в комбікормах по фермі, кг;

Q_3 – продуктивність змішувача, кг/год.

n – поголів'я свиней на фермі, гол.;

g – добова потреба в комбікормі на голову, кг/гол.»

«Амортизаційні відрахування»

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де B – балансова вартість змішувача, грн.

α – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %.

Відрахування на ремонт і ТО змішувача

$$P = \frac{B \cdot \beta}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.4)$$

де β – коефіцієнт відрахувань на ремонт та ТО, %.

Витрати на електроенергію визначимо за формулою

$$E = N \cdot t \cdot D \cdot c_e, \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де N – потужність змішувача, кВт.;

c_e – вартість електроенергії, грн/кВт·год»

«Загальні витрати

$$EB = Z + A + P + E, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Економія витрат

$$EEB = EB_1 - EB_2, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де EB_1 , EB_2 – експлуатаційні витрати для МКУ-1,2 та розробленого змішувача відповідно, грн.»

«Термін окупності нового змішувача

$$P = \frac{B_2 - B_1}{EEB}, \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де B_1, B_2 – балансова вартість МКУ-1,2 та проектного змішувача, грн.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.»

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності змішувача

№ з.п.	Показник	МКУ-1,2	Змішувач за розробкою
1	2	3	4
1	Чисельність обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
2	Годинна тарифна ставка, грн/год.	185,4	185,4
3	Кількість робочих днів на рік	365	365
4	Поголівя свиней на приватній фермі, гол.	200	200
5	Добова потреба в кормі, кг/гол.	3,2	3,2
6	Добова потреба в кормі по фермі, кг	640	640
7	Продуктивність змішувача, кг/год	280	320
8	Тривалість роботи машини на добу, год.	2,29	2,00
9	Балансова вартість машини, грн.	56300	83200
10	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
11	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
12	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	2,32	2,32
13	Потужність на привід, кВт	4	2,2
14	Витрати на заробітну плату, грн.	188705,42	165117,24
15	Амортизаційні відрахування, грн.	5630,00	8320,00
16	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	4504,00	6656,00
17	Витрати на електроенергію, грн.	7742,17	3725,92
18	Експлуатаційні витрати, грн.	206581,59	183819,16
19	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	22762,43
20	Термін окупності нового змішувача, років	-	1,2

Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовим він має переваги за експлуатаційними витратами за рахунок зменшення енергоємності та матеріалоємності. При вартості удосконалення 26900 грн. отримано економію експлуатаційних витрат на рівні 22762,43 грн., отже строк окупності при впровадженні складе 1,2 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі виконаного огляду існуючих технологій виробництва комбікормів, було визначено, що перспективним для дослідження за критеріями якості, енерго- та ресурсозбереження, а також універсальності застосування є спосіб порційного змішування сипучих компонентів комбікормів, оскільки впровадження його у технологічну схему дає можливість використовувати його в існуючих схемах малих комбікормових агрегатів.

2. Теоретично визначено, що в заданому об'ємі корму рівномірність змішування компонентів буде максимальною при зовнішньому діаметрі гвинта (0,76...0,84 м) та її ширині – 0,05 м. При цьому швидкість обертання гвинта буде впливати на швидкість переміщення маси корму, а отже, і на швидкість змішування. Так її зростання від 1,0 до 4,0 рад/с збільшує середню швидкість осевого переміщення від 0,106 до 0,424 м/с. Кут нахилу стрічки за умови найменшого опору при її обертанні повинен бути в межах 50...80°.

3. За результатами експериментальних досліджень визначено, що однорідність суміші набуває максимуму 97,8 % при $n=48 \text{ хв}^{-1}$ та $t=3,2 \text{ хв}$. Експериментально встановлено витрати енергії на процес мають нелінійний характер, при цьому оптимум (найменше значення) знаходиться в точці, яка відповідає значенню частоти обертання $40,5 \text{ хв}^{-1}$, а не в мінімумі n . При мінімумі k витрати енергії на процес складають 2,25 кВт/цикл а при максимумі – 3,66 кВт/цикл. Час змішування буде різний для різного вмісту найменшого компонента і знаходиться в межах 2,9...3,56 хв.

4. Згідно з вимогами охорони праці, нами було проведено обстеження розробленого змішувача сипких кормів. Було встановлено, що під час його експлуатації оператор може піддаватися впливу небезпечних і шкідливих факторів. Для їх уникнення було запропоновано відповідні заходи. Також було складено карту контролю показників безпеки.

5. Техніко-економічна оцінка експериментального змішувача показала, що в порівнянні з базовим він має переваги за експлуатаційними витратами за рахунок зменшення енергоємності та матеріалоємності. При вартості удосконалення 26900 грн. отримано економію експлуатаційних витрат на рівні 22762,43 грн., отже строк окупності при впровадженні складе 1,2 роки.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Діордієв В.Т. Автоматизація процесів виробництва комбікормів в умовах реформованих господарств АПК / Діордієв В.Т. – Сімферополь : ДОЛЯ, 2004. – 138 с.
2. Погорілий Л.А., Ясенецький В.Х. Малогабаритні комбікормові агрегати за рубежом / Л.А. Погорілий, В.Х. Ясенецький // Техніка АПК. – 1997. – №4. – С. 6 – 7.
3. Дмитрів Д.В. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів малогабаритних кормозмішувачів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Д.В. Дмитрів. – Тернопіль, 2001. – 20 с.
4. Brothman A., Wollan G., Feldman S. "Chem. and Met. End". April, 1945. – №4. – 52 p.
5. Caulson J., Maitra N. «Industr. Chem.», 26, 55, 1950.
6. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.
7. Повод М.Г, Дудін, В.Ю., Шпетний М.Б. Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм: монографія, Суми, «Сумський національний аграрний університет» 2019. – 96 с., ISBN 978-617-593-059-5
8. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p
9. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікормами / В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, Ю.І. Мудрак, П.І. Черниш //Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 48-53.

10. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2018 , November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.

11. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка//Materialy XV Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemysł: Nauka i studia– 36-39 s.

12. Дудін В.Ю. Дослідження подрібнювача фуражного зерна сколюючої дії / В.Ю. Дудін, О.М. Антіпов // Materialy XV Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemysł: Nauka i studia -33-35 s.

13. Suhadi, W. Die Sacke als Arbeitsorgan in verarbeitungs - maschinen. / W.Suhadi. //-Maschinenbautemechnik –№5, 1967, – P. 41-56. (англ)

14. Oyama J., Ayaki K. Kagaki Kikai, 1956, №20, – P. 6.

15. Lacey. P.M. Development in the Theory of Particfl mixing. J. Appl. Chem. 1954, №4, – P. 257

16. Duschek K. Optimierung der Produktion in einem bolivianischen Ziegelwerk / Ziegelindustrie International. Wiesbaden: Dauerlag

17. <https://www.youtube.com/watch?v=EDICLSN6sUc>

18. http://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82_%D0%9C%D0%9A%D0%A3.pdf

19. <https://www.youtube.com/watch?v=uVjg2cnGbMg>

20. https://downloads.skiold.dk/downloads/leaflets/engelsk/disc-mill_gb.pdf

21. <https://downloads.skiold.dk/downloads/feed/psheet/130986003949.pdf>

22. <https://agrostory.com/ua/info-centre/agronomists/mobilnyy-kombikormovyy-zavod-i-perspektivy-ego-ispolzovaniya/>

23. <https://propozitsiya.com/ua/kombikorm-na-kolesah>
24. <https://www.youtube.com/watch?v=QGzboM0oPas>
25. <https://riela.com.ua/peresuvna-ustanovka-kombikormiv/>
26. Magnus, K. Schwingungen: Eine Einführung in die physikalischen Grundlagen und die theoretische Behandlung von Schwingungsproblemen [Text] / Kurt Magnus. - Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, 2008. – 74p.
27. Parkinson, A.G. Vibration and balancing of rotating continuous shafts [Text]/A.G. Parkinson, R.E.V. Bishop // Proc. IMechE, Part C: J. Mechanical Engineering Science. – 1961. – No.3. – P. 200-213.
28. Баранецька О.Р. Вібраційне змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / О.Р. Баранецька // Машинознавство. – 2000. – № 3 (33). – С. 60–63.
29. Афтаназів, І.С. Вибір технології і обладнання для змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / І.С.Афтаназів, О.Р.Баранецька, О.М. Сімчук// Машинознавство. – 1999. – № 5 (23). – С. 55–62.
30. Берник, М.П. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача [Текст] / М.П. Берник, О.В. Цуркан, Л.Д. Величко // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – № 2(18). – С. 3–7.
31. Sarang O. Effects of powder cohesion and segregation on pharmaceutical mixing and granulation: dissertation doctor of philosophy: 05.2003/ O.Sarang // USA: New Jersey. – 2016. – P.1-8 (140).
32. Берник М.П., Цуркан О.В. Обґрунтування технологічних та конструктивних схем енергозберігаючих віброзмішувачів барабанного типу // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – №1 (17). – С. 34–37.
33. Цуркан О.В., Величко Л.Д. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – №2 (18). – С. 3–7.
34. Берник П.С., Берник М.П., Цуркан О.В. Енергозберігаючі змішувачі для приготування сипучих кормів // Техніка АПК. – 2003. – №8. – С. 16–18.

35. Регресійний аналіз [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://libfree.com/114811945_ekonomikaregresiyniy_analiz.html- Назва з екрану.

36. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: Дис.- докт. техн. наук: 05.20.01. - К., 1997.- 425 с.

37. Гевко І.Б., Гурик О.Я. Дослідження конструкторсько-технологічних параметрів зони перевантаження гвинтових транспортно-технологічних систем. Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". - Том VII. - К.: Видавництво НАУ. - 2000. - с. 184-190.

38. Григор'єв А.М., Преображенський П.А. Комплексна механізація і автоматизація вантажорозвантажувальних і транспортних робіт в машинобудуванні і приладобудуванні. К.: Наукова думка, - 1967. - 116 с.

39. Радик Д.Л., Гурик О.Я. Дослідження енерговитрат шнекового змішувача. - Тернопіль: Вісник ТДТУ, 2001, Том. 6, №3 - С56-61.

40. Оришка Х.О., Гончаров В., Кравцова Г., Артюхов А.. Процес взаємодії з сипкими матеріалами у постачальному пристрої гравітаційно- роторного типу. Вісник ТДТУ, Т.6., №4., 2001. С. 88-95.

41. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. Навч. посібник. -К.: НМК ВО, 1992. - 320 с.

42. Стадник І.Я. Науково-технічні основи дискретної дії на компоненти при перемішуванні : монографія / І.Я. Стадник. – Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2015. – 240 с.

43. Strenk F. Mieszanieimieszalniki (Mixing and mixingequipment) / F.Strenk. – Warszawa : Wydawnictwa NaukowoTechniczne, 1971. – 367 p.

44. Стадник І.Я. Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста : дис ... д.т.н. : 05.18.12 / І.Я. Стадник. – Київ. – 2013. – 487 с.

45. Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition / I.Stadnyk, J.Pankiv, P.Navrylko, H.Karpyk // Potravinarstvo

Slovak Journal of Food Sciences. – 2019. – Vol. 13. – № 1. – P. 581–592. DOI: 10.5219/1129. 5

46. Корнієнко Я.М. Процеси переносу в дисперсних системах : навч. посіб. / Я.М. Корнієнко, Р.В. Сачок. – Київ, 2011. – 132 с. 10. Расслоение в псевдоожигеном слое [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://repetitora.com/rassloeniev-psevdoozhizhenom-sloe>.

47. Drobot V.I. Technological calculations in baking production / V.I. Drobot. – Condor, 2010. – 440 p.